

IJZERSUPPLEMENTIE IN LAAGVEENPLASSEN



RAPPORT

2012
43

IJZERSUPPLETIE IN LAAGVEENPLASSEN
DE RESULTATEN

RAPPORT

2012

43

ISBN 978.90.5773.581.3



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Gerard ter Heerdt, Jeroen Geurts, Anne Immers, Michel Colin, Peter Olijhoek, Eddy Yedema,
Eric Baars, Jan Willem Voort

REFERAAT IJzersuppletie heeft zich bewezen als een effectieve en goedkope methode om het voormalige hoge ijzergehalte in waterbodems te herstellen. De interne eutrofiëring wordt hierdoor zeer sterk gereduceerd. De methode is toepasbaar in ondiepe meren en plassen waar geen zuurstofloosheid optreedt en waar de externe belasting voldoende laag is. In twee jaar tijd kan voldoende ijzer worden toegediend voor een werkingsduur van 25-40 jaar. IJzersuppletie is ook een veilige methode gebleken.

TREFWOORDEN IJzersuppletie, interne eutrofiëring, nalevering, fosfaatbelasting, waterbodem, nutriëntenbalans

FOTO OMSLAG De ijzermolen bij Loenen aan de Vecht, foto Gerard ter Heerdt

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-43

ISBN 978.90.5773.581.3

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

‘Van helder naar troebel en weer terug’ is de titel van een STOWA-publicatie over het verbeteren van de waterkwaliteit van oppervlaktewateren. Voor de laagveenplas Terra Nova ten westen van Hilversum kunnen daar nog eens twee stappen aan worden toegevoegd: ... en weer terug en weer terug.

In 2004 meldde het toenmalige Waterleidingbedrijf Amsterdam euforisch:

“Tussen 22 en 26 april klapte het héle meer om. Het werkt!”

Het waterleidingbedrijf had de overmaat aan brasem en blankvoorn weggevangen. Deze vissen hielden door het opwoelen van slib en de hoge predatie op watervlooien de blauwalgenbloei in stand. Het afvissen had kraakhelder water en de terugkeer van de waterplanten als resultaat.

En weer terug ...

Men was er destijds echter al niet gerust op dat deze toestand zo zou blijven. Er is namelijk nog niet direct sprake van een nieuw evenwicht in een pas afgeviste plas en de fosfaatbom van interne eutrofiëring was met het afvangen van de brasems niet gedemonteerd. Die lag nog op de bodem en ging voorheen elke zomer af. Door de allesoverheersende blauwalgenbloei was het effect ervan gemaskeerd. Na het helder worden van de plas werd het effect van de fosfaatbom pijnlijk duidelijk. Door het vrijkomen van fosfaat uit de bodem kregen nieuwe blauwalgen de overhand en werd het water opnieuw troebel. Terra Nova werd in de jaren na de visverwijdering zelfs troebeler dan ooit tevoren.

En weer terug ...

Met vooruitziende blik had men in 2004 ook al geopperd dat ‘beijzering’ van de plas op termijn wel eens nuttig en noodzakelijk kon zijn om helder water te behouden. Onderzoek van Paul Boers uit 1994 had reeds op deze optie gewezen, een optie die veel goedkoper zou zijn dan baggeren of het aanbrengen van een zandlaag op de bodem. Vroeger kenden veel laagveenplassen van nature een hoog ijzergehalte, zo leerde een publicatie uit 1948 en later onderzoek van het OBN. Ijzer legt fosfaat in de bodem vast, gebrek aan ijzer doet de fosfaatbom afgaan. Om Terra Nova werkelijk terug te brengen in een situatie van 60 jaar terug, moest de onnatuurlijke ijzerarme toestand teniet worden gedaan.

Omdat het huidige Waternet voor het waterzuiverings- en het drinkwaterproductieproces ijzerchloride in opslag heeft, zelfs nabij Terra Nova een tank heeft staan, was de praktijkproef die twee jaar geleden startte, relatief gemakkelijk te organiseren. Het verslag van deze proef en het onderzoek kunt u teruglezen in dit rapport. Het resultaat is voor Terra Nova weer glashelder water. Ditmaal duurzaam bereikt, en ook niet via een omstreden methode, zoals leegvissen. Voor de watersector is het winst dat de optie van ijzersuppletie zich bewezen heeft. In vergelijkbare situaties is dit een mogelijke goedkope en effectieve maatregel om op korte termijn veel betere KRW-scores te bereiken.

Ik wens (wij wensen) u veel leesplezier.



Directeur STOWA
J.M.J. LEENEN

VOORWOORD

Het bestrijden van de overmaat aan voedingsstoffen en het bestrijden van algenbloei in meren is al vele tientallen jaren een weerbarstige materie gebleken. Ook al zijn er vele successen bereikt, de waterkwaliteit in een groot deel van de Nederlandse meren en plassen is nog steeds niet in orde. De laatste paar jaren zijn er echter twee belangrijke initiatieven die daarin verandering kunnen brengen. In de eerste plaats is dat het STOWA-Watermozaïek, van waaruit kennis wordt gebundeld, geïntegreerd, toepasbaar gemaakt en van waaruit kennisleemtes worden onderkend. De sleutel hierbij is samenwerking tussen waterbeheerders en onderzoekers en dat is wat het Watermozaïek weet te bereiken. Het tweede initiatief is het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water van het ministerie van EL&I. Dit programma initieert en financiert een lange reeks projecten, gericht op toepassing en de opvulling van kennisleemtes. Niet alleen in theorie of in het laboratorium, maar volledig op praktijkschaal. Deze twee initiatieven tezamen leveren een groot aantal toepasbare maatregelen voor het halen van de KRW-doelen, waar we vijf jaar geleden alleen maar van konden dromen. Ijzersuppletie in laagveenplassen is daar één van.

Ook het project Ijzersuppletie in laagveenplassen is het resultaat van intensieve samenwerking. In de eerste plaats tussen Waternet, NIOO, de Radboud Universiteit en het AgentschapNL. Maar ook binnen deze instellingen hebben vele mensen hard aan het project gewerkt: onderzoekers, studenten, technici, onderhoudsmedewerkers, managers, boekhouders etc. Hun aantal loopt in de vele tientallen en ik kan ze hier niet allemaal bij naam noemen. Maar elk van hen heeft een wezenlijke bijdrage geleverd waarvoor ik ze hierbij nogmaals hartelijk wil bedanken.

De resultaten van dit project staan voor iedereen ter beschikking om toe te passen. Veel staat al op papier en zal te vinden zijn via het Watermozaïek, maar schroom vooral niet om bij vragen contact met ons op te nemen.

Namens het projectteam,
Gerard ter Heerdt

STOWA EN HET WATERMOZAÏEK

WAT IS WATERMOZAÏEK?

In het kennisprogramma Watermozaïek onderzoekt de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) samen met waterschappen en andere kennispartners bestaande en innovatieve maatregelen voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Waterkwaliteit is een speerpunt in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Onder de paraplu van het kennisprogramma testen waterbeheerders maatregelen in de praktijk uit, waardoor kennis wordt verzameld over de haalbaarheid, de betaalbaarheid en de effectiviteit ervan.

RESULTATEN

De oogst van het kennisprogramma Watermozaïek is meervoudig. Watermozaïek:

- levert een nieuwe kijk op maatregelen waar waterschappen met het oog op de Kaderrichtlijn Water hard aan werken of over aan het nadenken zijn. Van veel van deze maatregelen is (nog) niet precies bekend hoe (kosten)effectief ze zijn. Door het werk binnen het Watermozaïek is hierover veel meer bekend geworden;
- heeft zeer interessante nieuwe maatregelen ontwikkeld en uitgetest;
- introduceert een nieuw diagnosesysteem, waarmee waterbeheerders hun watersystemen kunnen analyseren en de ecologische ontwikkelingen daarin kunnen volgen en bijsturen: het KRW-Volg- en Stuursysteem (VSS);
- ontsluit reeds bestaande wetenschappelijke kennis en maakt deze praktisch toepasbaar. Hierbij spelen de binnen het programma georganiseerde kennisdagen een belangrijke rol. STOWA brengt tijdens deze dagen waterschappers en wetenschappers met elkaar in contact. Zij kunnen op deze manier direct kennis en ervaringen uitwisselen.

SAMEN DOEN

Dat mensen van waterschappen, Rijkswaterstaat, kennisinstellingen, universiteiten en adviesbureaus onder de vlag Watermozaïek nauw met elkaar samenwerken, biedt de beste garantie dat het programma de juiste kennis oplevert voor de praktijk van het regionale waterbeheer. Waterschappers en wetenschappers hebben bij het begin van het programma samen kennisvragen geformuleerd. Deze vragen vormen de basis voor de projecten die binnen het programma bestaan en nog worden uitgevoerd.

STOWA

STOWA, de initiatiefnemer van Watermozaïek, is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart en verspreidt kennis die nodig is voor de opgaven waar waterbeheerders voor staan.

VAN DENKEN NAAR DOEN

De resultaten van onderzoeksprojecten worden via het onderzoeksprogramma Watermozaïek van STOWA uitgewisseld met waterbeheerders die toepassing in hun beheersgebied overwegen.

INNOVATIEPROGRAMMA KADERRICHTLIJN WATER

Het project wordt mede gefinancierd vanuit het innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water, uitgevoerd door Agentschap NL in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Kijk voor meer informatie op www.watermozaiek.nl.

IJZERSUPPLETIE IN LAAGVEENPLASSEN

INHOUD

	VOORWOORD	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Het principe van ijzersuppletie	1
	1.2 Onderzoekslocatie	2
2	VOORONDERZOEK EN PILOT	6
	2.1 Laboratoriumproeven	6
	2.1.1 Het effect op ondergedoken waterplanten	6
	2.1.2 De werking van ijzersuppletie	8
	2.1.3 Conclusie uit de aquariumproeven	10
	2.2 De pilot	11
	2.2.1 Proefopzet	11
	2.2.2 Verspreiding van het ijzer	12
	2.2.3 Ontwikkeling van de nalevering	12
	2.2.4 pH	13
	2.2.5 Waterkwaliteit en plankton	13
	2.2.6 Waterplanten	13
	2.2.7 Verrassingen	16
	2.2.8 Conclusies uit de pilot	16

3	PRAKTIJKEXPERIMENT	17
3.1	Het toevoegen van ijzer in de praktijk	17
3.1.1	De werking van de molen	17
3.1.2	De hoeveelheid toegevoegd ijzer	18
3.1.3	Zichtbaarheid van ijzer	18
3.2	Het gedrag van ijzer in de plas	19
3.2.1	Verspreiding van ijzer over de plas	19
3.2.2	Fosfaatnalevering in de plas	20
3.3	Effecten op de waterkwaliteit	21
3.4	Geschatte werkingsduur	23
3.5	Vergelijking met andere metalen	23
3.6	Effecten op de biologie	25
3.6.1	Waterplanten	25
3.6.2	Visstand	27
3.6.3	Macrofauna	29
3.6.4	Fytoplankton	30
3.6.5	Zoöplankton	32
4	KOSTENEFFECTIVITEIT EN OPSCHAALBAARHEID	33
4.1	Effect op de KRW-maatlatten	33
4.2	Kosteneffectiviteit	34
4.3	Opschaalbaarheid	35
4.4	Veiligheid, vergunningen en draagvlak	36
5	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	37
6	LITERATUUR	39

1

INLEIDING

De komende jaren zullen de waterbeheerders zwaar investeren in maatregelen om de toevoer van fosfaat naar de meren te verminderen. Veel fosfaat is echter afkomstig uit de bodem van de meren zelf. Tot nu toe zijn er geen kosteneffectieve maatregelen voorhanden om deze toevoer te verminderen. De fosfaatbelasting in meren blijft daardoor vaak te hoog.

In het verleden werd fosfaat in de bodem van laagveenplassen gebonden aan het met kwelwater aangevoerde ijzer (Fe) en kwam er weinig of geen fosfaat vanuit de bodem in de plas. Door verdroging is deze toevoer van ijzer gestopt en gedurende een periode van enkele decennia is het fosfaatbindend vermogen van de waterbodems verloren gegaan. Daarnaast is er een grote aanslag gepleegd op de bindingscapaciteit van het nog aanwezige ijzer, door binding met fosfaat en zwavel aangevoerd via het oppervlaktewater.

Met dit project wordt er een methode ontwikkeld om op eenvoudige wijze weer voldoende ijzer in de bodem te brengen en de toevoer van fosfaat uit de bodem te stoppen. Het project is bedoeld om het inzicht in de geschiktheid van de methode te vergroten en de methode toepassingsgereed te maken. De methode sluit aan bij eerder onderzoek. Het ijzer zal met een mobiele doseringsinstallatie in opgeloste vorm anderhalf jaar lang in de plas worden gedruppeld. Via het water komt het ijzer in alle delen van de plas terecht, bezinkt het en komt het in de bodem terecht. Zo wordt de hele bodem geleidelijk weer met ijzer opgeladen en wordt het natuurlijke fosfaatbindend vermogen hersteld.

1.1 HET PRINCIPE VAN IJZERSUPPLETIE

Laagveenplassen hebben sterk te lijden onder een te hoge aanvoer van de voedingsstof fosfaat (nutriëntenbelasting of eutrofiëring). Door deze eutrofiëring ontstaat algenbloei, wordt het doorzicht minder, blijft de vegetatie ontoereikend of matig en worden de doelen voor vis en macrofauna ook niet gehaald. Eutrofiëring wordt veroorzaakt door twee factoren:

1. fosfaataanvoer van buiten de plas via de inlaat van voedselrijk water etc.: externe eutrofiëring;
2. het vrijkomen van fosfaat uit de waterbodem: interne eutrofiëring.

Zowel externe als interne eutrofiëring zijn in het algemeen een recent (na 1930) en door de mens veroorzaakt verschijnsel. De externe eutrofiëring is het gevolg van de vele verschillende lozingen op het oppervlaktewater. De interne eutrofiëring wordt veroorzaakt doordat sinds 1930 een groot deel van de veenbodem is afgebroken, er fosfaatrijk slib in de plassen is opgehoopt en het fosfaatbindend vermogen van de bodem verloren is gegaan (zie Jaarsma et al., 2008).

De waterbeheerders en diverse overheden werken aan maatregelen om de externe eutrofiëring van laagveenplassen terug te dringen. Deze maatregelen zijn kostbaar, maar ook effectief. Echter, in de Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water wordt geconstateerd dat "de nutriëntbelasting van het regionale oppervlaktewater moeilijk terug te dringen is vanwege nalevering vanuit de voorraad die in de bodem is opgebouwd". Hetzelfde blijkt uit het onderzoek

uitgevoerd in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (Lamers et al., 2001, Lamers red., 2006; 2009). Zelfs als de externe belasting tot een minimum is teruggedrongen, komt er in sommige meren vanuit de bodem nog steeds voldoende fosfaat beschikbaar om algenbloei mogelijk te maken.

Maatregelen om kosteneffectief de interne belasting terug te dringen zijn echter nog niet beschikbaar. Baggen kost vele miljoenen, levert veel overlast op, kost veel ruimte (baggerdepot) en eventueel succes is niet altijd duurzaam. Daarom wordt er niet veel gebaggerd. Afdekken met zand is een optie die in ontwikkeling is. Er wordt ook geëxperimenteerd met het binden van fosfaat in de bodem met aluminium of lanthaan. Nadeel van deze methodes is dat het karakter van de plas sterk wordt veranderd of dat er “gebiedsvreemde” stoffen worden aangebracht. Voor specifieke toepassingen kunnen deze stoffen zeer geschikt zijn.

Een al langer bekende methode om de interne eutrofiëring terug te dringen, maar slechts één keer in Groot Vogelenzang toegepast (Boers et al. 1994), is ijzersuppletie. De hoeveelheid ijzer in de bodem is vaak te laag, het OBN-deskundigenteam Laagveenwateren noemt ijzeradditie in bodem als een mogelijk belangrijke maatregel. Zie Lamers et al., 2001; Lamers, red., 2006; 2009.

Ijzer komt van nature in de bodem voor. Tot begin jaren vijftig van de vorige eeuw stroomde er vanuit de heuvelruggen een grote hoeveelheid ijzerrijke grondwater naar de oostelijke Vechtplassen. Het ijzer in dit kwelwater bond aan het aanwezige fosfaat, waardoor het vrijkomen van fosfaat sterk werd beperkt. Ook andere laagveenplassen in Nederland hadden van nature ijzerrijke bodems. De voorraad ijzer in de bodem van sommige plassen was lange tijd zo hoog door de continue nieuwe aanvoer van ijzer dat de externe aanvoer van fosfaat geneutraliseerd werd. De aanvoer van ijzerrijk kwelwater is inmiddels bijna geheel verdwenen en de bodem kan nu vaak geen extra fosfaat meer binden (Biemond 1948). Alle aanvoer komt daardoor onmiddellijk beschikbaar voor de algen. Herstel van de voormalige kwelstromen is niet mogelijk wegens de aanwezigheid van bebouwing, wegen en bossen, die de infiltratie van regenwater en daarmee de grondwaterstroming sterk beperken. Een maatregel die er voor zorgt dat de bodem toch weer voldoende ijzer bevat kan als een mitigerende maatregel voor de verdwenen kwelstroom worden beschouwd. Bij voldoende vrij ijzer wordt op de grenslaag tussen bodem en water weer continue fosfaat gebonden aan geoxideerd ijzer (Lamers red., 2006; 2009; Geurts, 2010).

Het hoofddoel van dit project is het ontwikkelen en evalueren van een praktisch toepasbare methode om op eenvoudige wijze weer ijzer in de waterbodem te brengen. De methode moet aansluiten bij bestaande kennis en deze verbreden en verdiepen. De kennisontwikkeling moet brede toepasbaarheid in Nederland mogelijk maken. Doordat de methode op praktisch schaal wordt uitgevoerd en de effecten op de KRW-kwaliteitselementen (fytoplankton, vegetatie, macrofauna en vis) nauwgezet worden gevolgd, kan worden beoordeeld hoe kosteneffectief de methode is. De resultaten van dit project moeten goed met andere waterbeheerders worden gedeeld en navolgbaar zijn.

1.2 ONDERZOEKSLOCATIE

Het experiment is uitgevoerd in de laagveenplas Terra Nova. Deze plas van 85 ha wordt beheerd door Waternet en is al lange tijd onderwerp van studie en herstelexperimenten. Van 1987 tot 2004 was er een jaarrond blauwalgenbloei. In 2003/2004 is de aanwezige brasem afgevis, verdween de blauwalgenbloei en werd de plas in winter en voorjaar helder. Opwerveling van bodemslib door wind speelt in deze plas door de vele legakkers geen rol van betekenis

(ter Heerdt & Hootsmans, 2007). Het herstel van een gevarieerde waterplantenvegetatie kan snel plaatsvinden (van de Haterd & ter Heerdt, 2007). Helaas vindt er sinds 2005 's zomers een sterke bloei van een andere groep blauwalgen plaats. Deze bloei wordt veroorzaakt doordat de fosfaatconcentraties toch nog te hoog zijn; 0,09 mg/liter (Dionisio Pires, 2007).

De water- en nutriëntenbalans, inclusief het aandeel vanuit de bodem en vogels, is uitvoering onderzocht (Brouwer & Smolders, 2006, Schep, 2007; 2010, Bakker, 2008), zie tabel 1.

TABEL 1

FOSFAATBELASTING IN DE LAAGVEENPLAS TERRA NOVA

Fosfaatbelasting in gram/m ² /jaar	
neerslag	0,02
kwel	0,04
inlaat uit Loenderveensche Plas	0,02
inlaat voor Terra Nova	0,01
afstroming land Terra Nova	0,01
vogels	0,01
bodem	0,10
totaal	0,22

Eind 2012 zal de externe nutriëntenbelasting door een aantal maatregelen worden beperkt. De interne belasting wordt daarmee de grootste post. Een uitgebreide ecologische modellering (Schep, 2007) voorspelt dat de belasting nog steeds te hoog zal zijn om algenbloei te voorkomen. Herstel van de plas zou daarom lang kunnen duren. De grote overlast van de algenbloei en het uitblijven van het herstel van dit Natuurbescherms-, Natura 2000- en KRW-gebied maakt het uitvoeren van aanvullende fosfaatbeperkende maatregelen wenselijk. IJzeradditie in de bodem lijkt hiervoor een potentieel geschikte methode. Daarmee is Terra Nova een ideale onderzoekslocatie.

DE METHODE VAN IJZERTOEVOEGING

Toevoeging van ijzer als metaal of oxide heeft geen zin, het moet in opgeloste vorm zijn om te werken. Een veelgebruikte verbinding is ijzerchloride. Om deze stof in de bodem te brengen bestaan meerdere opties. De stof zou via een schip met sproei-installatie op of in de bodem gebracht kunnen worden. Naar verwachting moeten we echter 615 ton ijzerchloride-oplossing aanbrengen. Dat wordt een ingrijpende operatie, die in een natuurbeschermsgebied op bezwaren kan stuiten. Bij een dusdanig grote dosering bestaat ook de kans dat de pH onverantwoord laag wordt. Daarom wordt in dit project geëxperimenteerd met een meer geleidelijke toevoeging.

In 2010 en 2011 is met een mobiele doseringsinstallatie ijzerchloride aan het water toegevoegd vanaf een vast punt in de plas. Het ijzer zal zich deels aan het in het water aanwezige fosfaat binden en deels oxideren tot ijzeroxiden en ijzerhydroxiden. De hierbij gevormde deeltjes zullen met de natuurlijke stroming over de hele plas worden verspreid en langzaam bezinken. Uiteindelijk zal het ijzer met het andere in de plas zwevende slib in alle uithoeken van de plas terechtkomen. Juist in die hoeken zet zich immers nu ook slib af en daarin ligt de voornaamste bron van interne eutrofiëring. Omdat de aanvoer over een periode van 1,5 jaar is verspreid, zal het afgezette ijzer door de natuurlijke menging (door gravende organismen) in de gehele aerobe toplaag worden verdeeld. De installatie staat op een ponton en kan eenvoudig worden verplaatst om te garanderen dat overal voldoende ijzer terecht komt. De snelheid waarmee ijzer wordt toegevoegd is laag, maar het gaat anderhalf jaar continue door. Hierdoor is de aanvoer van ijzer groot, maar de verstoring van de plas minimaal.

De dosering zal zo hoog zijn (100 gram Fe/m²) dat in anderhalf jaar de toplaag van de bodem weer voldoende ijzer bevat voor een periode van 10 jaar. Op de grenslaag van de bodem kan dan weer fosfaat worden gebonden. Fosfaat dat dieper in de bodem vrijkomt wordt hierdoor opgesloten en bereikt het water niet. Hierdoor komt dus minder voeding voor de algen beschikbaar.

De hoeveelheid fosfaat in de bodem verandert naar verwachting niet, mits de methode wordt ingezet in meren waar de externe belasting gering is. In Terra Nova is die belasting laag. Bij hoge externe belasting kan zich fosfaat in de plas blijven ophopen, hetgeen uiteraard ongewenst is.

De toegepaste techniek is eenvoudig en gebaseerd op vaak toegepaste technologieën:

- Met een windmolen, gekoppeld aan een water- en ijzerchloridepomp, wordt een waterstroom opgewekt, waarin ijzerchloride wordt gedoseerd.
- Het ijzerchloride wordt sterk verdund de plas ingevoerd. In het buizenstelsel vindt ook een groot deel van de vlokvorming plaats.
- Doordat de pompen rechtstreeks, mechanisch, aangedreven worden met een windmolen, is de mengverhouding tussen ijzerchloride en water constant.
- De mate van dosering is afhankelijk van de windsnelheid en daardoor gerelateerd aan de stroming in de plas, zodat er altijd voldoende menging en verspreiding optreedt.
- De hele installatie is op/onder een ponton gemonteerd en dus mobiel (zie figuur 1).
- Op de ponton staat een voorraad ijzerchloride voor een week, zodat er zo min mogelijk heen en weer gereden of gevaren hoeft te worden.
- Kwetsbare en gevaarlijke onderdelen zitten veilig in een container. Aan alle veiligheids-eisen voor mens, natuur en milieu wordt voldaan. De hele installatie is bestand tegen vandalisme.

FIGUUR 1

DE IJZERSUPPLETIE-INSTALLATIE IN TERRA NOVA. OP DE ACHTERGROND DE MOLENS EN KERKTOREN VAN LOENEN AAN DE VECHT



De hoeveelheid toe te voegen ijzer hangt af van de huidige hoeveelheid ijzer, fosfaat en sulfide in de bodem. Deze is in 2003 al uitgebreid door de Radboud Universiteit onderzocht (Brouwer & Smolders, 2006). Een eerste raming gaat uit van 100 gram ijzer per vierkante meter. Er is een gedetailleerde water-, chloride- en nutriëntenbalans van het gebied beschikbaar (Schep, 2010).

Op het eerste gezicht komt deze methode sterk overeen met de vaak toegepaste coagulatiemethode bij waterzuivering (defosfatering). Daarbij wordt immers ook ijzerchloride aan water toegediend. De technologie komt inderdaad overeen, maar het principe is fundamenteel verschillend. In de eerste plaats wordt de coagulatiemethode toegepast om water dat van buitenaf wordt aangevoerd te zuiveren. Het gaat dus om het terugdringen van de externe belasting, niet de interne. Het grote verschil is dat bij de coagulatiemethode de gevormde ijzerneerslag in een bezinkbassin wordt opgevangen en afgevoerd. Er komt dus géén ijzer in de bodem van de plas terecht.

Een risicoanalyse is onderdeel van het project (Blauw & Hammer, 2010). Uit een korte inventarisatie komen vooralnog geen grote problemen naar voren. We onderzoeken echter alle mogelijkheden:

- Toename van de chlorideconcentratie zal geen probleem zijn (net zo min als bij de coagulatiemethode). De extra toevoer is gering ten opzichte van de huidige concentratie en het water van de plas wordt voldoende ververst, waardoor chloride weer verdwijnt (van der Oost, 2009).
- IJzer kan toxisch zijn boven 6 mg/liter. Hier gaan we ruim onder blijven (van der Oost 2009).
- Vervuiling van het ijzerchloride (nikkel en koper) wordt voorkomen door gebruik te maken van KIWA-kwaliteit (van der Oost, 2009).
- Als de externe belasting laag is, hoopt zich geen fosfaat op.
- IJzerchloride in een 40% oplossing is een gevaarlijke stof. Waternet heeft echter veel ervaring met het veilig werken met deze stof, volgens hiervoor reeds opgestelde protocollen (Colin, 2012; Blauw & Hammer, 2010).
- Geluidsoverlast en vervuiling wordt voorkomen door gebruik te maken van zonne- en windenergie.

Een mogelijk knelpunt is wel dat onder dichte vegetaties in theorie fosfaat kan vrijkomen (Lamers et al., 2012). Vegetatieontwikkeling is het doel van dit project. Succes op dit gebied kan dan de werking van de ijzeradditie weer teniet doen. Dit aspect zal uitgebreid worden onderzocht.

Voor het ontwerp, bouw, onderhoud en beheer van de installatie wordt verwezen naar Colin (2012). Zie voor het gehele projectvoorstel ter Heerdt (2009).

2

VOORONDERZOEK EN PILOT

Alvorens op grote schaal in de laagveenplas Terra Nova ijzersuppletie toe te passen, moet zeker zijn dat ijzersuppletie onschadelijk en kansrijk is. Een reeks laboratoriumexperimenten en een middelgrote pilotstudie in proefvakken is hiervoor bedoeld.

Tijdens de workshop GO/NO GO is op basis hiervan groen licht voor het praktijkexperiment gegeven.

2.1 LABORATORIUMPROEVEN

2.1.1 HET EFFECT OP ONDERGEDOKEN WATERPLANTEN

Eén van de belangrijkste soortengroepen in laagveenplassen is de groep ondergedoken waterplanten. Herstel hiervan is de sleutel voor het herstel van het ecosysteem en het halen van de KRW-doelen. Het is niet ondenkbaar dat de toevoeging van ijzer de vestiging en groei van waterplanten zou kunnen remmen. Veel ervaring hiermee is er niet, al groeien waterplanten vaak goed in ijzerrijke (kwel)gebieden en coagulatiebassins. Daarom is in aquaria met waterplanten ijzerchloride toegevoegd en het gedrag van verschillende soorten waterplanten bestudeerd. Daarbij werd steeds gepoogd om het effect van voedselschaarste door fosfaatbinding te scheiden van ijzertoxiciteit.

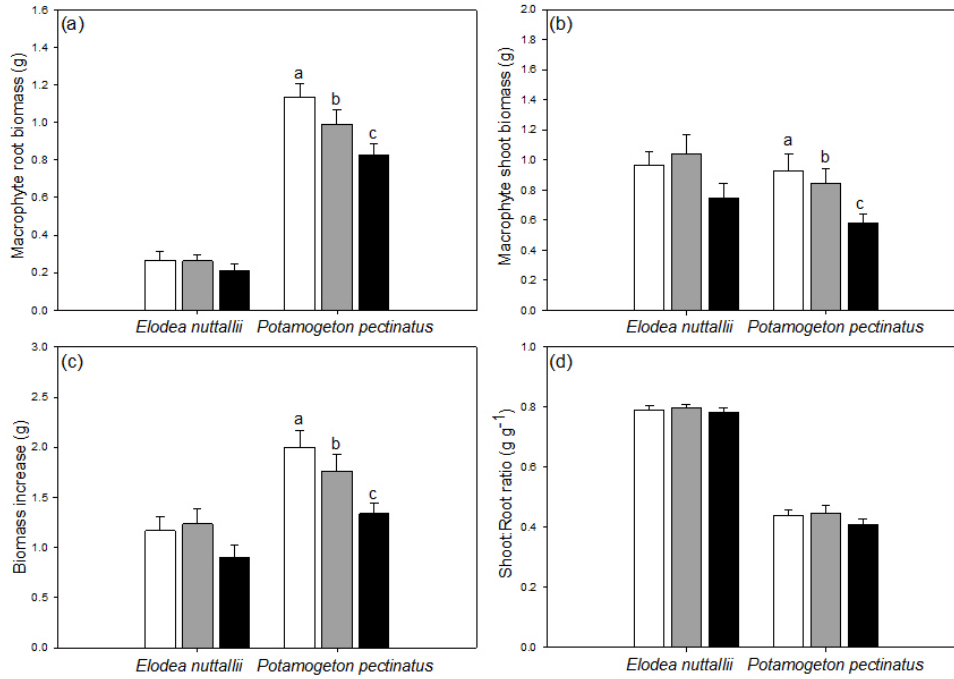
Volledige verslagen van deze experimenten zijn te vinden in Immers et al., 2010, Mels-Vendrig, 2011, Immers et al., 2011, van der Zande & van der Sande, 2011.

Getest werden eerst de algemeen voorkomende soorten waterpest en schedefonteinkruid. Ijzerchloride werd óf alleen aan het water toegevoegd, óf deels in de bodem gemixt en deels in het water. Door een kleine hoeveelheid ijzer aan de referentie toe te voegen werd ook hierin het aanwezige fosfaat weggevangen en werd chloride toegevoegd om puur op het effect van ijzertoevoeging te kunnen testen.

Bij hogere doseringen werd de groei van de planten licht geremd (figuur 2). Deze remming zal echter de vestiging en ontwikkeling van waterplanten in het veld niet ernstig belemmeren. Ook omdat de toevoeging slechts 2 jaar zal duren. Symptomen als necrotische plekken, verkleuringen of oxidehuidjes werden niet waargenomen. In hoeverre de groeiremming veroorzaakt wordt door ijzertoxiciteit of toch door P-limitatie en een lage pH, is niet geheel duidelijk. Er lag, door de snelle toediening in korte tijd, een laagje ijzerslib op de planten dat de lichtbeschikbaarheid zal hebben beperkt. In de veldsituatie zal deze neerslag veel geringer zijn.

FIGUUR 2

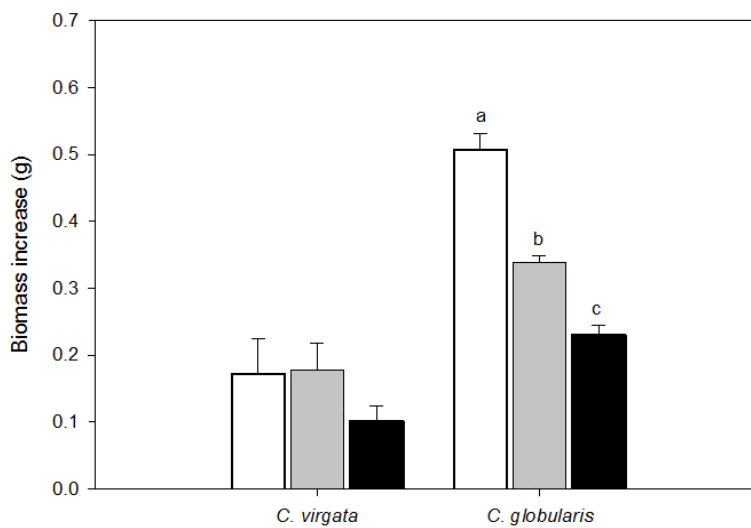
HET EFFECT VAN IJZERSUPPLETIE OP DE GROEI VAN TWEE PLANTENSOORTEN VAN VOEDSELRIJK WATER. (A) ONDERGRONDSE BIOMASSA, (B) BOVENGRONDSE BIOMASSA, (C) TOENAME TOTALE BIOMASSA EN (D) RATIO ONDERGRONDSE: BOVENGRONDSE BIOMASSA (GEMIDDELDE \pm SEM) VAN WATERPEST (*E. NUTTALLII*) EN SCHEDEFONTEINKRUID (*P. PECTINATUS*) NA 12 WEKEN IJZERADDITIE. IJZERDOSERINGEN: 0 (WIT), 20 (GRIJS) EN 40 (ZWART) G FE M-2. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN BEHANDELINGEN ZIJN PER SOORT AANGEGEVEN MET VERSCHILLENDE LETTERS



In een tweede reeks experimenten werden twee relatief kwetsbare en gevoelige plantensoorten onderzocht: *Chara virgata* en *C. globularis*. Ook uit deze experimenten bleek dat ijzersuppletie kan leiden tot een remming van de groei (figuur 3), die echter niet onrustbarend is.

FIGUUR 3

HET EFFECT VAN IJZERSUPPLETIE OP DE GROEI VAN TWEE PLANTENSOORTEN VAN MATIG VOEDSELRIJK WATER. TOENAME (GEMIDDELDE \pm SEM) VAN *CHARA VIRGATA* EN *CHARA GLOBULARIS* NA 5 WEKEN IJZERADDITIE. IJZERDOSERINGEN: 0 (WIT), 20 (GRIJS) EN 40 (ZWART) G FE M-2. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN BEHANDELINGEN ZIJN PER SOORT AANGEGEVEN MET VERSCHILLENDE LETTERS



2.1.2 DE WERKING VAN IJZERSUPPLETIE

Vóór de start van de praktijkproef werd een aquariumproef uitgevoerd om de werking van ijzersuppletie te onderzoeken, zie van Hintum (2011). Hierbij werd ook onderzocht of plantengroei kan leiden tot extra mobilisatie van fosfaat uit de bodem.

Er werden veertig aquaria gevuld met water en sediment uit Terra Nova, waarbij al dan niet ijzer door de bodem werd gemengd (100 g. Fe/m² ineens). Zie figuur 4. Grof hoornblad en smalle waterpest werden in twee dichtheden geplant (300 gr en 75 g. Fe per aquarium) en vergeleken met aquaria zonder planten. Dit alles werd 5 maanden gevolgd.

FIGUUR 4

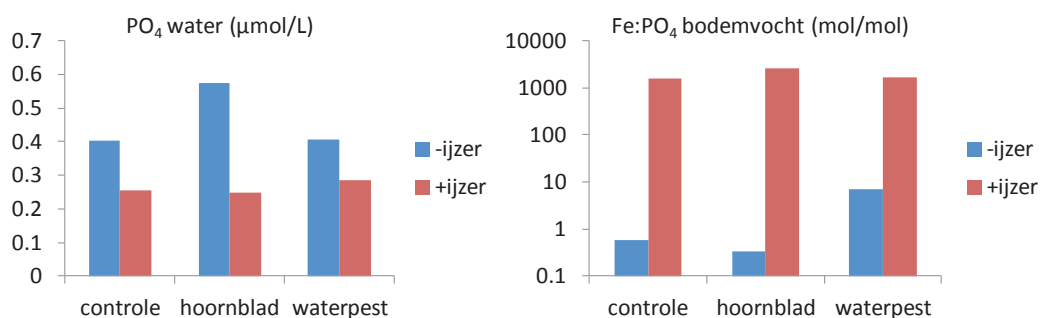
DE GEBRUIKTE PROEFOPSTELLING VOOR HET LABORATORIUMONDERZOEK



Ijzeradditie leidde tot hogere ijzerconcentraties in het water en het sediment en tot lagere fosfaatconcentraties in het water. Hieruit blijkt dat het vrijkomen van fosfaat sterk wordt geremd door ijzersuppletie. Geheel volgens de hypothese wordt dat veroorzaakt door een gunstigere Fe:PO₄ ratio in het poriewater van de bodem (bodemvocht). Zie figuur 5.

FIGUUR 5

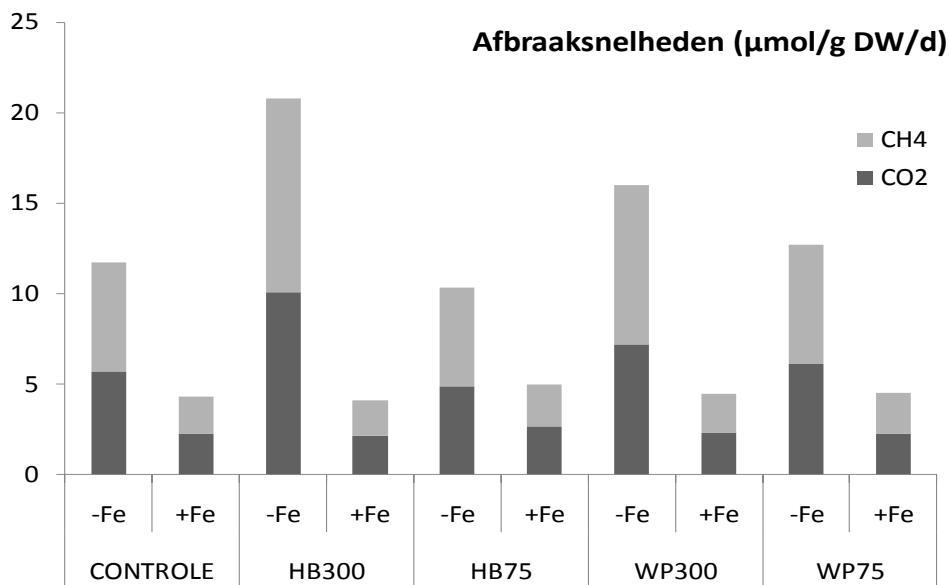
HET EFFECT VAN IJZERSUPPLETIE OP (A) DE FOSFAATCONCENTRATIE IN HET WATER EN (B) DE IJZER/FOSFAATRATIO IN HET BODEMVOCHT



Doordat de volledige ijzerdosis in dit geval in een keer werd toegevoegd, trad er echter verzuring op van water en sediment door hydrolyse van het ijzer (tot pH 5,5) en kwam er potentieel toxisch ammonium vrij in het sediment, als gevolg van verdringing door de plotselinge verhoging van de ijzerconcentratie. Hieruit blijkt dat ijzer beter geleidelijk kan worden toegediend, zodat ongewenste neveneffecten worden tegengegaan.

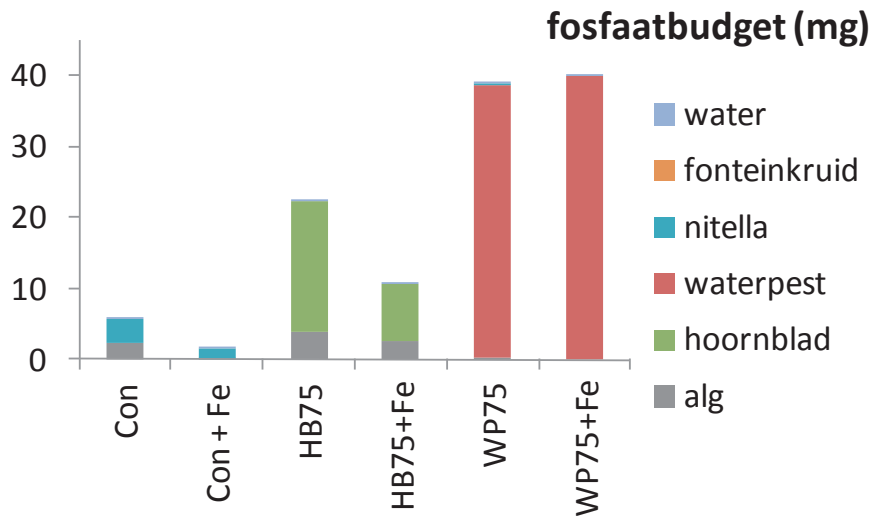
De met ijzer behandelde sedimenten bleken minder snel af te breken dan de andere sedimenten (figuur 6). Dit kan als een positief bijeffect van de ijzeradditie worden gezien, omdat hierdoor minder bagger wordt gevormd en minder kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄) wordt geproduceerd. Bij de afbraak van deze sedimenten kwam ook minder fosfaat vrij dan bij de sedimenten zonder ijzer, al kwam er wel meer ammonium vrij.

FIGUUR 6 HET EFFECT VAN IJZERSUPPLETIE OP DE AFBRAAKSNELHEID VAN DE BODEM. DE AFBRAAKSNELHEID WORDT BEPAALD DOOR DE HOEVEELHEID GEPRODUCEERD KOOLDIOXIDE (CO₂) EN METHAAN (CH₄) TE METEN (IN MICROMOL KOOLSTOF/GRAM DROGGEGEWICHT/DAG). HB = GROF HOORNBLAD, WP = WATERPEST, -FE = ZONDER IJZER, +FE = MET IJZER



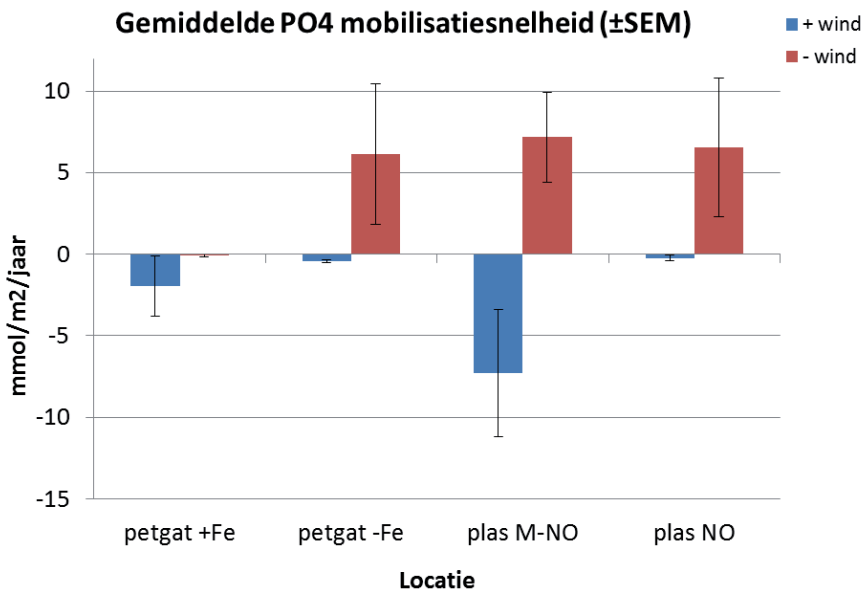
Zowel grof hoornblad als smalle waterpest groeiden beter in de aquaria zonder ijzer. De dichtheid van de vegetatie had hier geen effect op. De lagere groei werd vermoedelijk veroorzaakt door de verzuring en hiermee gepaard gaande C-limitatie, een duidelijk bijeffect van de plotselinge ijzeradditie. Maar de waterplanten kunnen mogelijk ook in hun groei zijn belemmerd door lagere fosfaatconcentraties. Dit betekent niet per se dat de planten ook minder P opnemen (figuur 7) en dus kan de potentiële P-mobilisatie via planten net zo hoog zijn. Planten nemen fosfaat op via de wortels (Waterpest) en/of vormen een zuurstofloze waterlaag net boven het sediment ("mini-spronglaag"; Geurts et al., in prep.) in een dichte vegetatie. Het vrijkomende P wordt door de planten opgenomen, maar het zou bij het afsterven in het najaar weer vrij kunnen komen. Bij een volledige bedekking kan er zelfs 3-6 keer meer P uit planten vrijkomen dan de totale P-belasting in Terra Nova.

FIGUUR 7 DE HOEVEELHEID FOSFAAT AANWEZIG IN PLANTEN EN WATER NA AFLOOP VAN HET EXPERIMENT IN AQUARIA ZONDER (CON) EN MET INGEBRACHTE PLANTEN (HB = GROF HOORNBLAD, WP = WATERPEST) EN HET EFFECT VAN IJZERSUPPLETIE DAAROP (+FE)



Opwerveling van bodemslib door wind of vis zou kunnen leiden tot versterkte fosfaatmobilisatie als vrij fosfaat versneld uit de bodem in het water komt. Opwerveling kan echter ook juist leiden tot vastlegging van fosfaat in de bodem als de bodem zuurstofrijker (meer geoxideerd) wordt. Dit is in kolomproeven getest. Opwerveling blijkt de nalevering te verminderen, niet te vergroten (figuur 8).

FIGUUR 8 HET EFFECT VAN OPWERVELEN DOOR WIND OP DE FOSFAATMOBILISATIE OP VERSCHILLENDE LOCATIES IN TERRA NOVA. DE IJZERSUPPLETIE IN DE PLAS WAS OP DIT MOMENT NOG NIET GESTART



2.1.3 CONCLUSIE UIT DE AQUARIUMPROEVEN

Ijzersuppletie kan de groei van planten remmen, maar dat zal de vestiging ervan niet in de weg staan. Bovendien gaat het om een tijdelijk effect. De methode is in dit opzicht dus veilig. Voorwaarde is wel een geleidelijke toediening om pH-daling, toename van ammonium en ijzerslibneerslag op planten te voorkomen.

De toename van het ijzergehalte in de bodem en de gunstigere Fe:PO₄-ratio in de bodem leidt inderdaad tot een vermindering van de nalevering na ijzersuppletie.

Hoge bedekkingen met waterplanten kunnen echter leiden tot een verhoging van de nalevering, waarbij het vrijkomende fosfaat direct weer door planten wordt opgenomen.

Bovendien lijkt er minder afbraak plaats te vinden in de bodem. Opwerveling door wind vermindert de mobilisatie van fosfaat. Ijzersuppletie lijkt dus een kansrijke methode.

2.2 DE PILOT

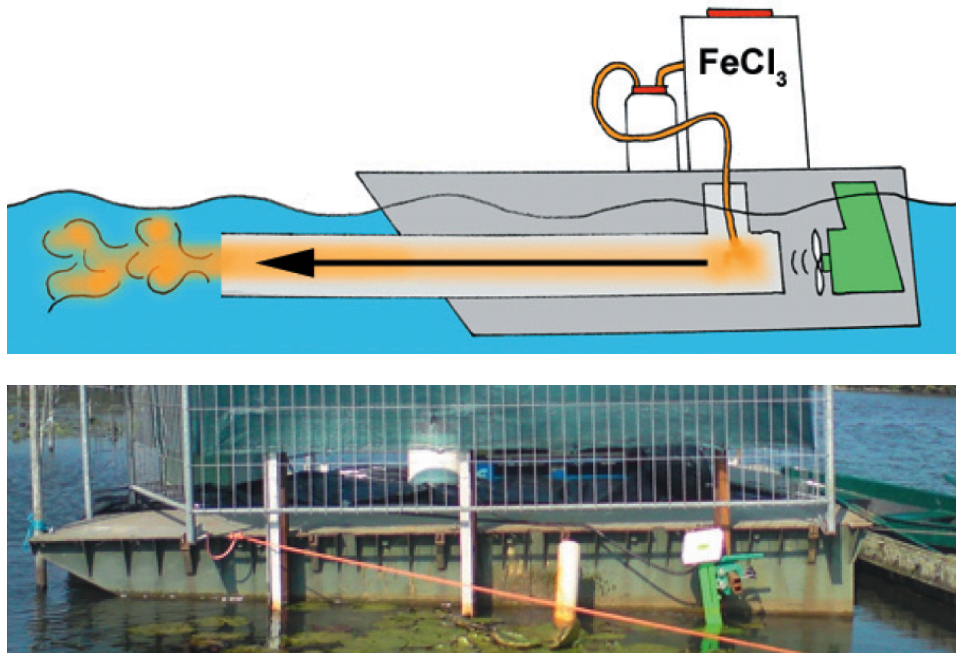
Voordat ijzersuppletie op grote schaal in Terra Nova plaatsvond, is er in 2009 een pilot gestart in twee afgesloten petgaten van 0,5 ha in Terra Nova. In één petgat werd geleidelijk ijzer gedoseerd, het andere diende als referentie. Deze pilot was vooral bedoeld om de eventuele risico's van ijzersuppletie op veilige wijze door "trial and error" te onderzoeken. De belangrijkste vragen waren: Wat is het effect op de zuurgraad? Wat is daarvoor een veilige dosering en doseringssnelheid? Verspreidt het ijzer zich goed? Neemt het fosfaatbindend vermogen in de bodem toe en de nalevering af? Wat doen de algen? Leidt het zoöplankton schade? Hoe reageren de waterplanten? Welke verrassingen staan ons te wachten?

2.2.1 PROEFOPZET

Met een mobiele pompinstallatie werd in korte tijd een hoge dosering ijzerchloride toegepast om te zien wat daarvan het effect zou zijn. In totaal werd hierbij 85 g Fe m⁻² in de waterlaag toegevoegd. Het ijzerchloride liep met een hevel vanuit een 50 liter tussenvat in een buis, waardoorheen een elektrische buitenboordmotor water stuwde (figuur 9). Volledige verslagen van deze pilot zijn te vinden in Mettrop (2009), Rietdijk (2010), Voerman (2010), van Hintum (2011), van der Wal (2011), Janssen (2012) en Chrzanowski (2012).

FIGUUR 9

SCHETS EN FOTO VAN DE GEBRUIKTE INSTALLATIE OM DE PILOT VAN IJZER TE VOORZIEN



2.2.2 VERSPREIDING VAN HET IJZER

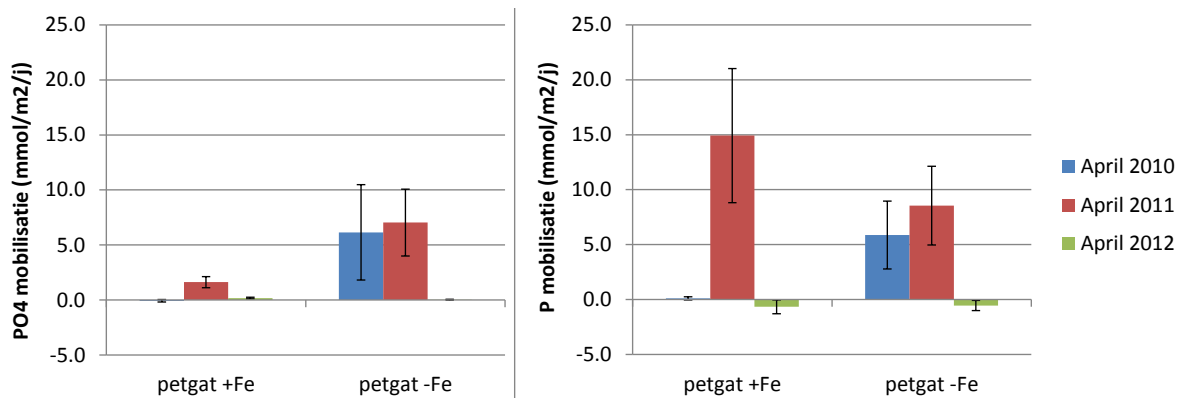
Het ijzer vormde een wit/roestbruine pluim, met een duidelijk waarneembare vlok die lang bleef zweven, wat gunstig is. Het ijzer bleef niet onder de installatie liggen, maar verspreidde zich goed over het gehele proefvlak. Metingen in sedimentvangers tonen aan dat ijzer vooral als een dun (hydr)oxidelaagje op het sediment neerslaat, doordat er in de proefvakken weinig menging is opgetreden door windwerking of bodemwoelende vissen.

2.2.3 ONTWIKKELING VAN DE NALEVERING

Ijzersuppletie leidde in dit proefvak op korte termijn tot een duidelijke toename van de ijzer:fosfaat ratio in het bodemvocht van een lage waarde (< 5) naar een hoge waarde van vijftig met relatief veel meer ijzer dan fosfaat (Geurts et al., 2008). De minimale veilige streefwaarde ligt rond tien. Op de langere termijn liep deze ratio nog veel verder op. Deze gunstige ratio zorgde ervoor dat er in 2009 en 2010 nauwelijks nog fosfaat werd uitgewisseld tussen het sediment en de waterlaag. Hierdoor bleef het beijzerde proefvak 2 groeiseizoenen helder zonder P-pieken, terwijl het controle proefvak wel pieken in P en troebelheid vertoonde.

De nalevering in de proefvakken is in 2010, 2011 en 2012 met kolomproeven onderzocht (figuur 10). In het compartiment met ijzer bleek de nalevering van fosfaat sterk te zijn afgenomen. Opvallend is de mobilisatie van totaal P, in de vorm van vermoedelijk zeer kleine ijzerfosfaatcolloïden, in 2011. Dit was in het veld zichtbaar aan de wittige kleur. In 2012 is de nalevering weer zeer laag. Opvallend is ook de lage nalevering in het proefvak zonder ijzer. Metingen in het water van het proefvak zonder ijzer lieten ook een verhoogde ijzerconcentratie zien. Het proefvak is niet volledig waterdicht en wordt, bij droog weer, op peil gehouden met water uit het ijzerrijkere omliggende gebied.

FIGUUR 10 DE NALEVERING VAN FOSFAAT (PO₄, OPGELOST) EN FOSFOR (P, INCLUSIEF ZEER KLEINE, COLLOÏDALE DEELTJES) IN DRIE OPEENVOLGENDE JAREN, IN DE TWEE PROEFVAKKEN



2.2.4 PH

Het ijzer werd in drie periodes gedoseerd met rustperiodes ertussen (tabel 2).

TABEL 2

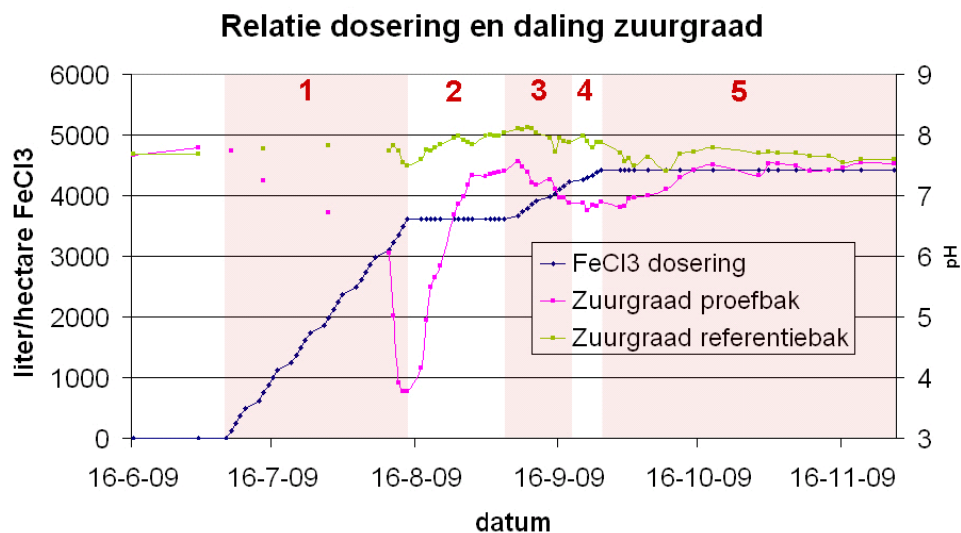
DOSERINGSCHEMA PILOT

Periode	Data 2009	Intensiteit in liters	Intensiteit in gram Fe
1	07-07 t/m 14-08	50 ltr./dag (622 ltr/hect/week)	12 g Fe/m ² /week
2 (rust)	17-08 t/m 07-09	0 ltr./dag (0 ltr/hect/week)	0 g Fe/m ² /week
3	07-09 t/m 18-09	25 ltr./dag (311 ltr/hect/week)	6 g Fe/m ² /week
4	21-09 t/m 25-09	15 ltr./dag (186.6 ltr/hect/week)	3.6 g Fe/m ² /week
5 (rust)	25-09 t/m 27-11	0 liter/dag (0 ltr/hect/week)	0 g Fe/m ² /week

Door de toevoeging van ijzerchloride daalde de pH fors. Toen de pH onaanvaardbaar laag werd (<6), is de dosering gestopt. Na herstel is met een lagere doseringssnelheid verder gegaan tot de pH weer daalde. Daarna is nogmaals een weer lagere snelheid toegepast, waarbij de pH constant bleef.

FIGUUR 11

HOEEVEELHEID TOEGEVOEGD IJZERCHLORIDE (LINKS) EN VERANDERING IN DE ZUURGRAAD (PH, RECHTS)



Op basis van deze pilot is de veilige dosering bepaald op 27 liter ijzerchloride (40%) per hectare/dag.

2.2.5 WATERKWALITEIT EN PLANKTON

Tijdens de pilot bleek dat de concentraties fosfaat, Chl-a, de hoeveelheid algen en de hoeveelheid zwevende stof afnamen. De blauwalgen verdwenen uit de populatie. De samenstelling van het zoöplankton veranderde niet.

2.2.6 WATERPLANTEN

Tijdens dit pilot experiment was er echter geen sprake van opkomst van macrofyten in het gerestaureerde petgat, noch in het naastliggende petgat. De vraag was dan ook of dit kwam door het toegediende ijzer, met als bijkomend gevolg een vertroebeling van het water (figuur 9), of dat er mogelijk een andere reden was voor de afwezigheid van onderwatervegetatie (zie van der Wal 2011).

FIGUUR 12

DE AFGESLOTEN PETGATEN IN TERRA NOVA EN VELDWERK EN EXCLOSURES IN PETGAT A ZONDER IJZER EN PETGAT B MET IJZER



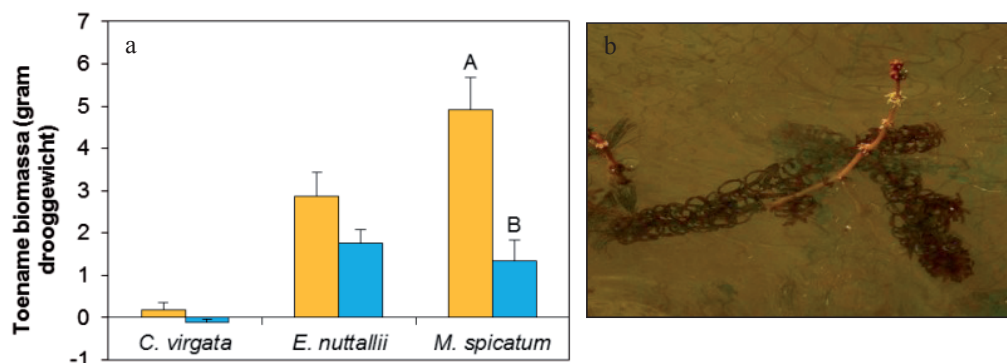
Tijdens eerder uitgevoerde experimenten en metingen werden er ook steeds vaker Amerikaanse rivierkreeften (*Procambarus clarkii*) aangetroffen in zowel de afgesloten petgaten als in Terra Nova zelf (zie ook figuur 32). Deze uitheemse kreeften staan bekend als omnivoren die grote invloed kunnen hebben op vegetatie door het versnipperen/consumeren van macrofyten en het vertroebelen van het water door sedimentresuspensie.

Om het (gecombineerde) effect van ijzersuppletie en herbivorie (door o.a. de Amerikaanse rivierkreeft) op de ontwikkeling van macrofyten te testen werden er in april 2011 verschillende exclosures ingezet in zowel het met ijzer behandelde petgat als in het onbehandelde petgat. In replica's van zeven werden er kooien (1 x 1 x 1 m) ingezet voor vier verschillende behandelingen met elk verschillende maaswijdtes. Kreeften exclosures met een maaswijdte van 1 x 1 cm, gedeeltelijke herbivoren exclosures met een maaswijdte van 5 x 10 cm, en kreeften exclosures met een maaswijdte van 1 x 1 cm, waarin elk vier kreeften werden geplaatst. Ook werden er gebieden van 1 x 1 m aangewezen die dienden als controle gebieden. In elk van deze behandelingen werden transplants geplant van de waterplanten teer kransblad (*Chara virgata*), smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) en aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) in sediment uit de bijbehorende petgaten. Na een periode van 6 weken werden de transplants weer geoogst en werd er gekeken naar de toename in biomassa, evenals het spontaan opkomen van natuurlijke vegetatie in de afgezette gebieden.

Bij de vergelijking tussen de twee verschillende petgaten (ijzerbehandelingen) werd de groei van de geplante macrofyten die beschermd waren tegen begrazing vergeleken. Er werd een significant positief effect gevonden van ijzeradditie op de groei van de transplants van aarvederkruid. De transplants van aarvederkruid bereikten een hogere biomassa in het met ijzer behandelde petgat vergeleken met de transplants in het onbehandelde petgat (figuur 13a). Dezelfde tendens was te zien bij waterpest en breekbaar kransblad.

FIGUUR 13

(A) TOENAME IN BIOMASSA VOOR DE MACROFYTEN CHARA VIRGATA, ELODEA NUTTALLII EN MYRIOPHYLLUM SPICATUM IN DE KREEFTEN EXCLUSURES IN HET IJZERRIJKE (GEEL) EN IJZERARME (BLAUW) PETGAT. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN DE PETGATEN WORDEN WEERGEGEVEN DOOR VERSCHILLENDE LETTERS (F = 5,81; P < 0,005), (B) M. SPICATUM EN E. NUTTALLII IN HET MET IJZER BEHANDELDE PETGAT



Naast een verschil in ijzerconcentratie werd er ook een verschil in doorzicht gemeten tussen de twee petgaten (tabel 3). Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door de zwevende deeltjes in het water (zie paragraaf 2.2.3), als gevolg van het snelle toedienen van het ijzer in 2009. De resulterende verschillen in doorzicht en ijzerconcentratie staan weergegeven in tabel 3.

TABEL 3

VERSCHILLEN IN ABIOTISCHE FACTOREN TUSSEN HET IJZERRIJKE EN IJZERARME PETGAT

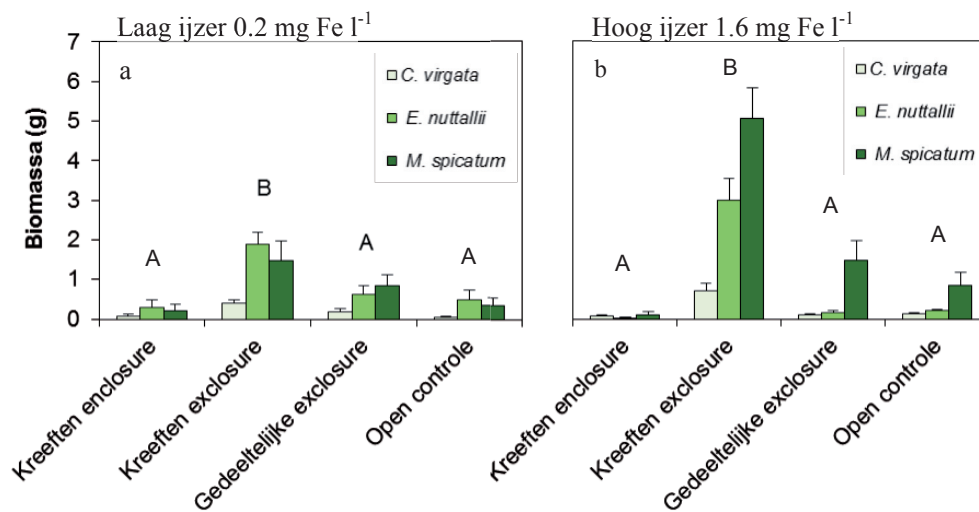
	Hoog ijzer petgat	Laag ijzer petgat
Ijzer concentratie april 2011 (mg l ⁻¹)	1.30	0.09
Ijzer concentratie september 2011 (mg l ⁻¹)	1.60	0.21
Lichtintensiteit		
aan wateroppervlak (μmol m ⁻² s ⁻¹)	368.43	315.57
op 35 cm diepte (μmol m ⁻² s ⁻¹)	127.57	201.71
op 60 cm diepte (μmol m ⁻² s ⁻¹)	56.43	140.00
Licht-extinctie coëfficiënt (m ⁻¹)	3.03	1.28

De lagere lichtintensiteit in het met ijzer behandelde petgat kan mogelijk een stimulatie zijn geweest voor de snellere groei van *M. spicatum* naar het oppervlak. Dit werd ook in het veld waargenomen, waar in het met ijzer behandelde petgat *M. spicatum* tot aan het oppervlak werd gezien, terwijl in het onbehandelde petgat *M. spicatum* het oppervlak niet bereikte (figuur 13b).

Naast een effect van het ijzer op de macrofyten was er ook een zeer groot effect van kreeften te zien op alle macrofyten (figuur 14). Het effect van de begrazing van kreeften was het grootst op *C. virgata* en *E. nuttallii*, die elk significant de hoogste biomassa bereikten bij de kreeften exclusures. Voor deze planten was er geen verschil tussen de kreeften exclusures, gedeeltelijke exclusures en de open controle behandelingen, wat laat zien dat hun afname in biomassa voornamelijk wordt veroorzaakt door kreeftenvraat. *M. spicatum* had de laagste biomassa in de kreeften exclusures en de hoogste biomassa in de kreeften exclusures. De gedeeltelijke exclusures en de open controle leverde een gelijke tussenliggende biomassa op.

FIGUUR 14

MACROFYTEN BIOMASSA IN HET (A) IJZERARME PETGAT EN (B) IJZERRIJKE PETGAT IN DE VERSCHILLENDE KREEFTEN BEHANDELINGEN. SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN DE KREEFTEN BEHANDELINGEN VOOR ALLE MACROFYTEN SAMEN WORDEN WEERGEGEVEN DOOR VERSCHILLENDE LETTERS (F = 54,81; P < 0,001)



De proef laat zien dat het zeer waarschijnlijk is dat kreeften een grote rol spelen bij de afwezigheid van de macrofyten in de petgaten. Terugkeer van macrofyten in Terra Nova kan door deze intensieve vraat ernstig worden gehinderd.

Ijzertoediening in de petgaten leek een indirecte positieve rol te hebben op de groei van aarvederkruid door het verminderen van het doorzicht. De toediening van ijzer in Terra Nova zal waarschijnlijk niet een dergelijk effect hebben op het doorzicht, aangezien de hoeveelheid toegevoegd ijzer relatief lager is en de toediening over een langere tijd zal worden uitgespreid. Wel hebben de ijzerconcentraties in Terra Nova waarschijnlijk geen negatieve effecten op de groei van macrofyten, aangezien de macrofyten in het met ijzer behandelde petgat even goed of zelfs beter groeiden dan in het controlepetgat.

2.2.7 VERRASSINGEN

Na het stopzetten van het doseren ontstond telkens een witte waas in het water. Deze was twee jaar na het doseren nog steeds zichtbaar (Mettrop, 2009). Hierdoor werd het proefvak meestal niet helderder dan de referentie, soms zelfs troebeler. Waaruit de witte kleur bestond is niet met zekerheid vast te stellen, het bleek niet mogelijk de stof te isoleren. Vermoedelijk gaat het om een suspensie van colloïdaal ijzer(II)hydroxide en mogelijk ook ijzercarbonaat (sideriet), veroorzaakt door een te snelle dosering waardoor het ijzer zich niet in de bodem kon mengen (Chrzanowski, 2012). Bij verdere oxidatie kleurt het ijzer vervolgens geel en roestbruin.

2.2.8 CONCLUSIES UIT DE PILOT

Mits de dosering voldoende geleidelijk is, maximaal 27 liter ijzerchloride (40%) per hectare/dag, is ijzersuppletie veilig. De pH daalt niet tot te lage waarden, er is geen significante schade aan de vegetatie. Het fosfaatbindend vermogen van de bodem wordt hersteld, de methode lijkt te werken.

3

PRAKTIJKEXPERIMENT

3.1 HET TOEVOEGEN VAN IJZER IN DE PRAKTIJK

3.1.1 DE WERKING VAN DE MOLEN

De molen functioneerde grotendeels volgens plan. Er is/was een klein aantal eenvoudige technische aanpassingen nodig:

- Omdat de hoeveelheid wind op deze locatie tegenviel is de molen voorzien van een grotere wiek. De standaardwiek van 1,22m is vervangen door een wiek van 1,50m.
- Bij de oorspronkelijke toerentalreductie van de molenas naar de ijzerpomp was de weerstand zo groot dat de molen en de pompen bij windkracht 3 BFT en lager stil stonden. Door de reductie te vergroten van 3,37 naar 7,63, draaide de molen wel bij windkracht 3. Het gemiddelde pompvermogen bleef daardoor gelijk.
- Bij de reductie van 3,37 werd bij windselheden boven 8 BFT het toerental van de ijzerpomp te hoog, met een defecte pompslang als gevolg. Met een reductie van 7,63 kan het toerental ook bij zware storm niet meer te hoog worden.
- Het verplaatsen van het ponton bleek, zeker bij wind, zwaarder dan gedacht. Voor toepassing van de installatie op een minder beschutte plas zal een sterkere duwboot nodig zijn om controle te houden en voldoende veilig te kunnen varen.
- De aanzuigbuis van waterpomp stak wat te diep en bleef hangen achter waterplanten. Dit onderdeel moet worden aangepast.
- De gebruikte knelkoppelingen op de assen gingen slippen en zijn vervangen door een koppeling met borgpen.
- De kunststof kranen en leidingen bleken snel te verouderen. Een halfjaarlijkse inspectie is nodig.
- De slang in de slangpomp gaat een half tot een heel jaar mee. Een regelmatige controle is nodig.
- De tank stond wat dicht tegen de achterkant van de container, zodat er weinig werkruimte was. Door de dissel hoger opklapbaar te maken kan de tankwagen meer naar voren.
- Dat de peilschaal aan de voorkant zat, en de vulopening achter, is minder handig.

Het is voor een vlotte reparatie handig om voldoende reserveonderdelen klaar te hebben liggen, zeker voor kwetsbare onderdelen en die met levertijd.

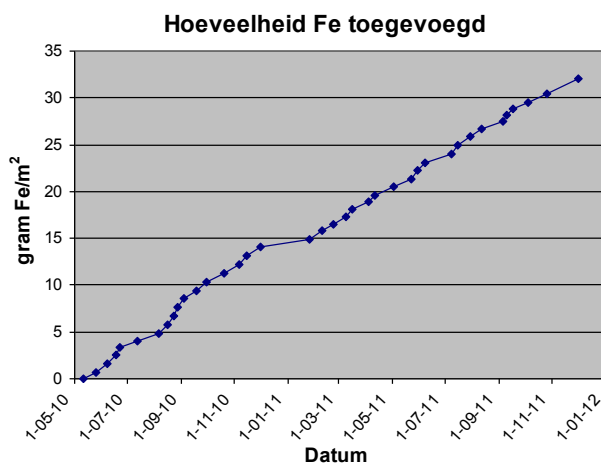
Het vullen, transporteren en wisselen van de tanks verliep probleemloos. Er deden zich geen lekkages of morsingen van enige omvang voor. Op den duur lag er wel een beetje ijzer op de grond. Het gewicht van het transport in combinatie met de intensiteit maakt dat de afrit en beschoeiing voldoende stevig en klinkvast moet zijn. Een sterke verankering tussen de kant en het ponton tijdens het laden van de kar met ijzerchloride is een vereiste.

3.1.2 DE HOEVEELHEID TOEGEVOEGD IJZER

Voor de inschatting van de capaciteit van de installatie is uitgegaan van de gemiddelde windsterkte in De Bilt. Deze gegevens gelden echter voor open gebied en op tien meter hoogte. Omdat Terra Nova door dichte bomen omzoomd was en de molen slechts 7 meter hoog was de windvang aanzienlijk minder. Op een open plas van 100 ha zal de windvang aanzienlijk meer zijn. Als de molen bij 2 BFT al draait (1,5 m/s) neemt het pompvermogen met een factor 2,8 toe ten opzichte van de situatie in Terra Nova.

Uiteindelijk is 33 gram ijzer per m² toegevoegd, in plaats van 100-200. De analyse van de Radboud Universiteit (zie paragraaf 3.2.2) laat zien dat dit in principe genoeg zou kunnen zijn. Wegens alle onzekerheden wordt nog steeds een hoeveelheid van 100 gram ijzer per m² aanbevolen. Op een open plas, vol in de wind, is dat haalbaar.

FIGUUR 15 DE HOEVEELHEID TOEGEVOEGD IJZER PER M² IN TERRA NOVA



3.1.3 ZICHTBAARHEID VAN IJZER

De vrees bestond dat het water door het toevoegen van ijzer oranje zou kleuren. Door de dosering van ijzer in een grote waterstroom en een tweede wateraanvoer met de venturibuis werd echter een, voor dit doel, goede vlokvorming verkregen. De vlok was niet zo klein dat hij niet bezonk en het water rood kleurde (iets wat ook op locaties met nog bestaande natuurlijke ijzerrijke kwel zichtbaar is), maar ook niet zo groot dat het ijzer onder de installatie bezonk en daar bleef liggen. Door menging met pompwater, water in de venturibuis en de menging in de plas verdunde de ijzerpluim zich snel (figuur 16).

De pH in de ijzerpluim bleek niet lager dan in het omringende water, als gevolg van de enorme verdunning.

FIGUUR 16

DE IJZERPLUIM IS TOT EEN METER OF TIEN ZICHTBAAR, VERDEROP IS DE VERDUNNING AL TE GROOT OM HET IJZER ZICHTBAAR TE MAKEN



3.2 HET GEDRAG VAN IJZER IN DE PLAS

Van 2009 tot 2011 is het gedrag van het ijzer in de bodem door een reeks onderzoekers met hun studenten onderzocht: Voerman (2010), Saris (2010), van Hintum (2011), Chrzanowski (2012) en Janssen (2012).

3.2.1 VERSPREIDING VAN IJZER OVER DE PLAS

Bodem- en waterkwaliteit werden gemonitord op negen monsterpunten verspreid over de plas (figuur 17). Hier zijn ook sedimentvallen geplaatst. Uit de metingen blijkt dat ijzer ook hier vooral als (hydr)oxidelaagje op de bodem komt en daarom is tot nog toe alleen in de bovenste cm van de bodem een verhoogde ijzerconcentratie en ijzerfosfaatratio gemeten. In het oppervlaktewater en dieper in de bodem neemt ijzer niet of nauwelijks toe. Er sedimenteert minder ijzer in de oostelijke (NO_2) en zuidelijke uithoeken (ZO en ZW) van Terra Nova (figuur 18), maar daar sedimenteert ook weinig P.

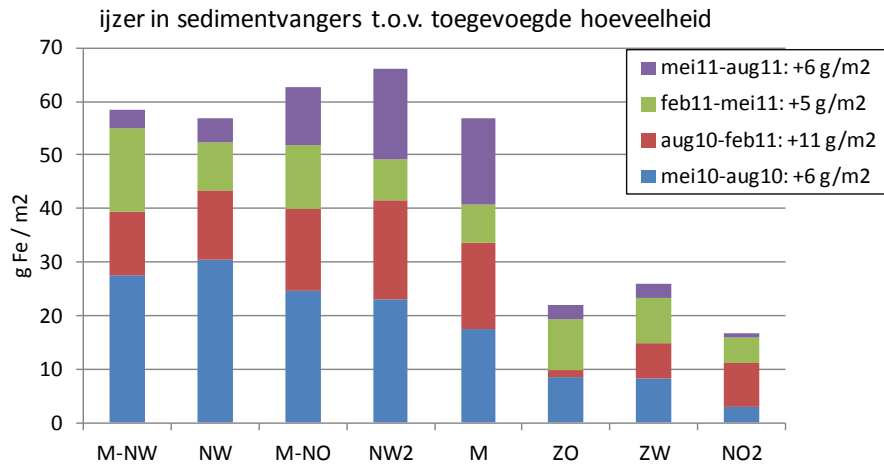
Op alle andere plaatsen slaat meer ijzer neer dan er gemiddeld is toegevoegd. Dat is niet in elke periode hetzelfde, verschillen ontstaan door verschillen in windrichting en stroming. Maar uiteindelijk komt overal ongeveer evenveel terecht. Ook daarom is een langdurige, geleidelijke, toevoeging noodzakelijk.

FIGUUR 17

DE VERSCHILLENDE LOCATIES WAAR SEDIMENTVALLEN ZIJN GEPLAATST EN WAAR WATER- EN BODEMKWALITEIT WERD GEMONITORD



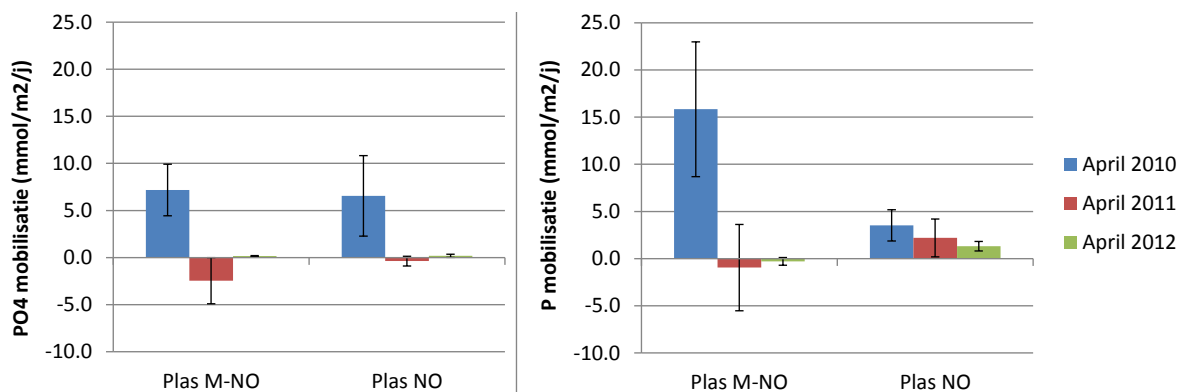
FIGUUR 18 DE HOEVEELHEID IJZER IN DE SEDIMENTVALLEN. ER IS GEMIDDELD 28 G FE/M2 TOEGEVOEGD TUSSEN MEI 2010 EN AUGUSTUS 2011



Ook in 2012 is het ijzer in de plas nog mobiel. De ijzerconcentraties (opgelost) zijn nog verhoogd en vermoedelijk is ook nog colloïdaal ijzer aanwezig. Een flink deel van het ijzer ligt op de bodem en wervelt makkelijk op om elders te kunnen bezinken. In de proefvakken van de pilot bleek dat ijzer zelfs in voldoende mate in het proefvak zonder ijzer kon doordringen om ook daar de nalevering te beperken (zie paragraaf 2.2.3).

3.2.2 FOSFAATNALEVERING IN DE PLAS

Doordat het ijzer nog niet goed was gemengd in de toplaag van het sediment, waren de fosfaatconcentraties alleen in de bovenste cm van het bodemvocht gedaald. Daarnaast werd door het gevormde ijzerlaagje op de bodem de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag sterk geremd. Het lijkt erop dat in sommige gevallen wel kleine ijzerfosfaat deeltjes ($<0,2 \mu\text{m}$) vrij kunnen komen in het water, die indirect beschikbaar kunnen zijn voor planten en algen. Tot nu toe is dit verschijnsel alleen waargenomen in het pilot proefvak met ijzer.

FIGUUR 19 DE NALEVERING VAN FOSFAAT (PO₄, OPGELOST) EN FOSFOR (P, INCLUSIEF KLEINE, VASTE DEELTJES) IN DRIE OPEENVOLGENDE JAREN, VOOR TWEE LOCATIES IN DE PLAS

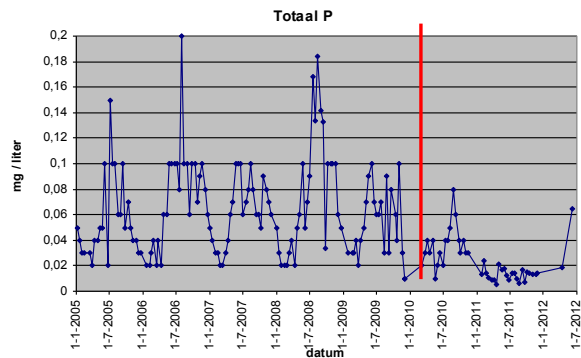
De nalevering is in 2010, 2011 en 2012 bepaald aan de hand van een aantal intacte bodemkolommen die telkens op twee plaatsen werden gestoken (NO en M-NO). Als gevolg van de grote variatie tussen de kolommen die op een locatie zijn gestoken (door de heterogeniteit van de bodem) zijn de resultaten minder eenduidig dan gewenst. Duidelijk is dat de nalevering van fosfaat sterk is afgenomen tot nihil, de bodem lijkt zelfs fosfaat te adsorberen (figuur 19). Ook het vrijkomen van P-totaal (dus inclusief kleine, vaste deeltjes) toont een negatieve trend.

3.3 EFFECTEN OP DE WATERKwalITEIT

Het basismeetprogramma gaf goed inzicht in de situatie vóór, tijdens en vlak na de ijzersuppletie.

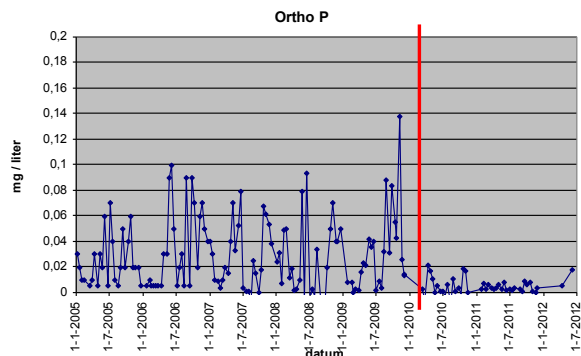
FIGUUR 20

De zomergemiddelde fosfaatconcentratie (P-totaal) daalde van 0,065 mg/l in 2009 naar 0,038 in 2010 en 0,012 in 2011. Deze daling kan voor een groot deel worden toegeschreven aan de sterke afname van de fosfaatnalevering vanuit de bodem



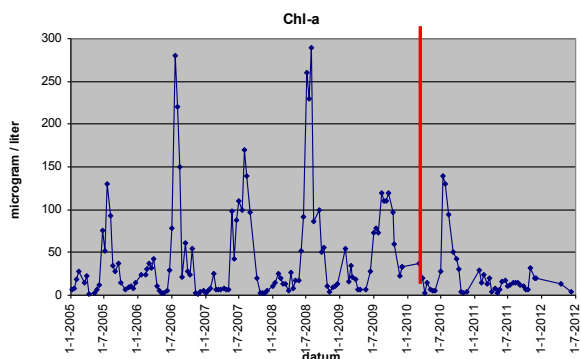
FIGUUR 21

De concentraties opgelost (ortho)fosfaat daalden van 0,033 mg/l in 2009 naar 0,005 in 2010 en 0,004 in 2011. De ijzertoevoeging zal ook fosfaat uit externe bronnen en het in het water aanwezige fosfaat hebben vastgelegd. Verwacht wordt dat de fosfaatconcentratie na het stoppen van de suppletie weer wat zal toenemen, maar niet tot de oude waarden

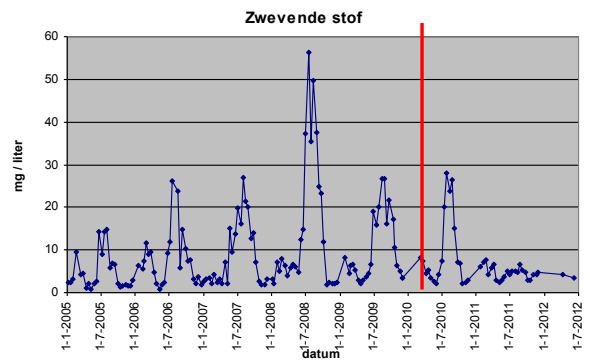


FIGUUR 22

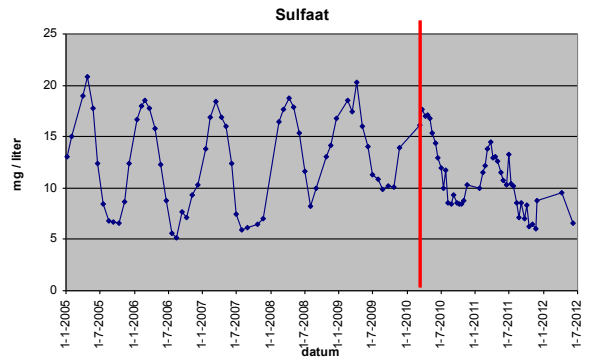
De zomergemiddelde concentratie Chl-a nam af van 67 µg/l in 2009 naar 47 in 2010 en 11 in 2011. De algenbloei is dus verdwenen



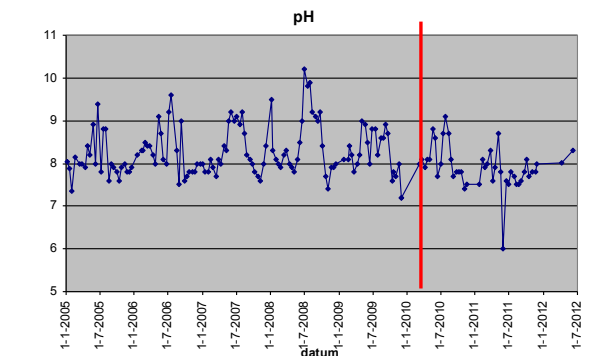
FIGUUR 23 De hoeveelheid zwevende stof in de zomer nam af van 13,0 mg/l in 2009 naar 11,5 in 2010 en 4,6 in 2011. Dit is voor een groot deel het gevolg van de verdwenen algen. Duidelijk is ook dat er geen grote hoeveelheden ijzer blijven zweven



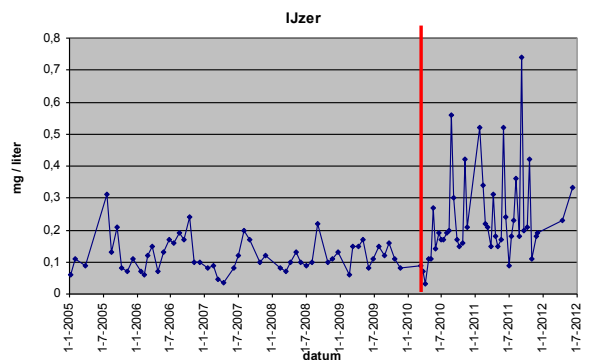
FIGUUR 24 De sulfaatconcentratie in de zomer nam af van 13.2 mg/l in 2009 naar 12.5 in 2010 en 10.5 in 2011. Omdat sulfaat de nalevering vanuit de bodem versterkt en leidt tot veenaafbraak is dit een gunstig bijeffect. Tenzij de sulfaatconcentratie afnam doordat de sulfaatreductie toenam



FIGUUR 25 De pH daalde van 8,6 in 2009 naar 8,3 in 2010 en 7,6 in 2011 en bleef ruim boven de 6,5. Voor de eenmalige uitschieter is geen verklaring, de dosering ging niet sneller dan anders. Een pH van 6 is echter nog steeds geen probleem

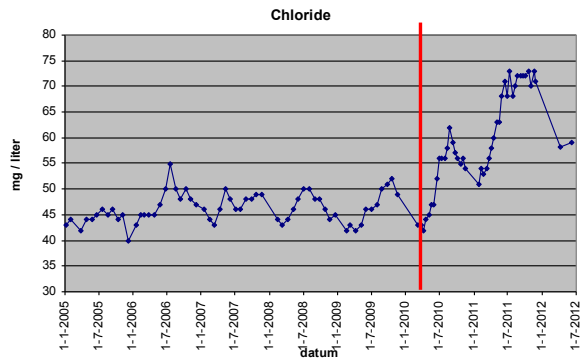


FIGUUR 26 De ijzerconcentratie in de zomer nam toe van 0,13 mg/l in 2009 naar 0,20 in 2010 en 0,27 in 2011. Deze gehalten bleven ruim onder de norm van 6 mg/liter



FIGUUR 27

De chlorideconcentratie in de zomer nam toe van 46,4 mg/l in 2009 naar 52,4 in 2010 en 67,5 in 2011. Dat is ruim beneden de grenswaarden van 200 mg/liter



3.4 GESCHATTE WERKINGSDUUR

Hoe lang ijzersuppletie gaat werken valt op verschillende manieren in te schatten. Daarbij gaan we uit van een dosering van 33 g Fe/m².

- 1 Op basis van interne en externe P-fluxen: theoretisch genoeg ijzer voor 42 jaar, worst case 26 jaar (bij hoge interne P-fluxen). Dan zal al het toegevoegde ijzer verzadigd zijn met fosfaat.
- 2 Op basis van P in bodem: voldoende ijzer voor alle P in sedimentdieptes van 15-60cm. Bovendien is er 1,5 tot zes keer zoveel ijzer dan P in het water en in de 10 cm toplaag van het sediment.
- 3 Op basis van fosfaatmobilisatie in het beijzerde petgat: de mobilisatie van colloïdale ijzerfosfaat deeltjes (zoals in 2011 gebeurde) zou de werkingsduur kunnen beperken, gesteld dat algen die als bron kunnen gebruiken. Of een dergelijke mobilisatie bij een meer geleidelijke toevoeging en op de langere termijn kan voorkomen, moet nog blijken.
- 4 Op basis van gewenste Fe:PO₄-ratio in bodemvocht > 10 (Geurts et al. 2008): Dat is (nog) niet overal bereikt, dus een schatting is (nog) niet mogelijk. Na verloop van tijd zal het ijzer beter in de toplaag van de bodem zijn gemengd. Belangrijk is nu echter dat er een ijzerlaagje op de bodem ligt dat fosfaatmobilisatie tegengaat.
- 5 Op basis van P in bodemvocht: (nog) geen effect van ijzer, dus een schatting is (nog) niet mogelijk.

3.5 VERGELIJKING MET ANDERE METALEN

Om ijzersuppletie te kunnen vergelijken met alternatieve behandelingen, werd een cilinderexperiment opgezet in Terra Nova. Hierbij werd geleidelijk ijzerchloride, poly-aluminiumchloride (PAC), aluminiumchloride, Phoslock (bentonietkleideeltjes opgeladen met lanthaan) of Phoslock + PAC aan het water in de cilinders (ø 1m) toegevoegd, naast vier controlecilinders (figuur 28). De dosis was overal vergelijkbaar met 100 g/m² ijzer, maar werd wel vier keer zo snel toegediend als in de plas (1,68 g/m²/week).

FIGUUR 28

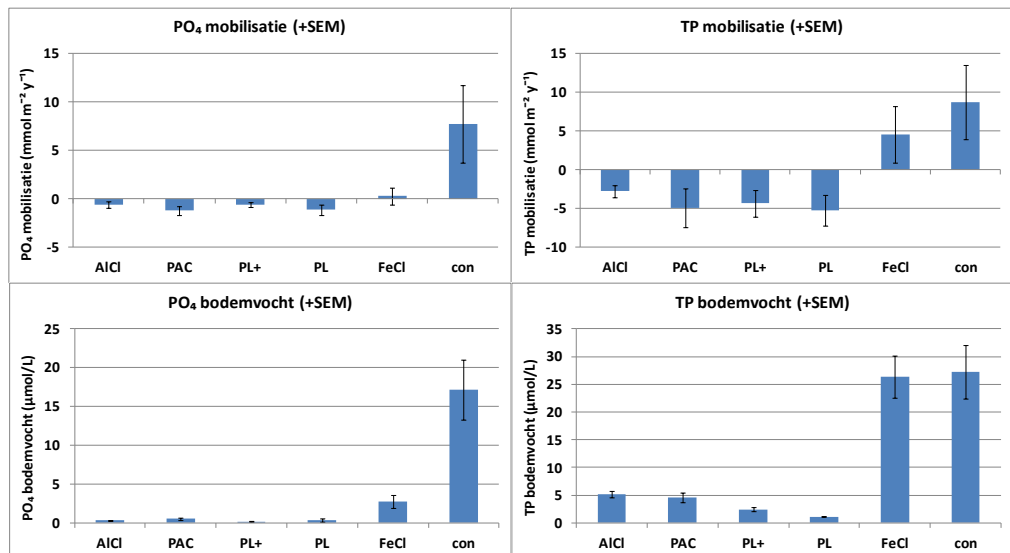
DE CILINDERS MET DE VERSCHILLENDE ALTERNATIEVE BEHANDELINGEN IN HET PROEFVAK ZONDER IJZER



In alle behandelde cilinders bleek de fosfaatmobilisatie naar de waterlaag en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht veel lager te liggen dan in de controlecilinders (na 60% van de totale dosering; figuur 29). Hierdoor bleven ook de fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater laag en was het water meestal helderder dan in de controlecilinders. Wel hadden de met Phoslock behandelde cilinders in de zomer last van flab (floating algal beds, algendrijflagen). Bij de ijzerbehandeling vond er echter mobilisatie van P plaats en bovendien was de P-concentratie in het bodemvocht niet verlaagd. Ook dit kan mogelijk worden veroorzaakt door de aanwezigheid kleine ijzerfosfaat colloïden in de waterlaag.

FIGUUR 29

DE NALEVERING VAN FOSFAAT (PO_4 , OPGELOST) EN FOSFOR (P, INCLUSIEF KLEINE, VASTE DEELTJES) NA TOEVOEGING VAN VERSCHILLENDE METALEN (NA 60% VAN DE TOTALE DOSERING)



Daarnaast daalt de pH flink in de cilinders waar ijzer- en aluminiumchloride aan is toegevoegd, tot een pH van respectievelijk 5,5 en 5,0. Ook stijgt de ammonium-concentratie in het oppervlaktewater flink in deze behandelingen, wat de groei van waterplanten kan remmen. Uit een laboratoriumexperiment blijkt echter dat de groei van waterpest niet wordt beïnvloed door de toegepaste behandelingen. Dit betekent dus dat waterpest ook gebonden fosfaat kan blijven gebruiken, maar dat algengroei wel geremd wordt door een afname van de fosfaatmobilisatiesnelheid en dus een afname van de fosfaatbeschikbaarheid in de waterlaag.

Uit dit cilinderexperiment blijkt dat alternatieven voor ijzerchloride (nog) beter kunnen werken, maar deze alternatieven zijn wel (vele malen) duurder.

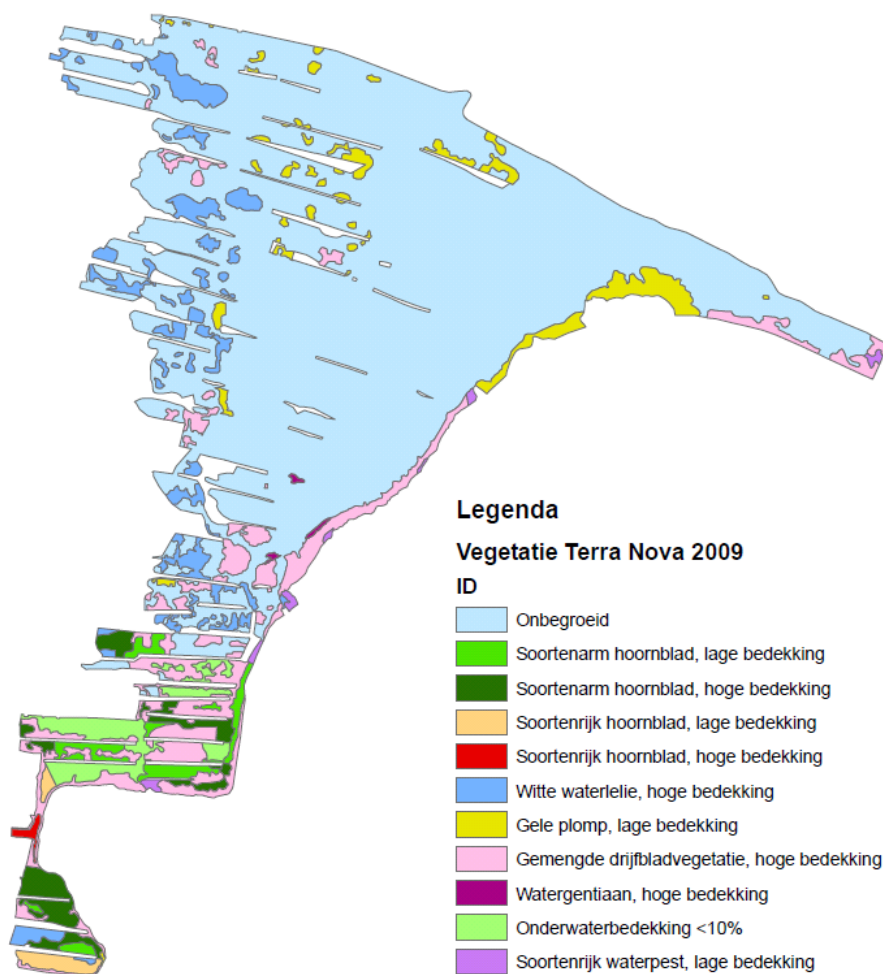
3.6 EFFECTEN OP DE BIOLOGIE

3.6.1 WATERPLANTEN

Terra Nova bestaat uit twee delen die onderling sterk verschillen. Het zuidelijke petgatengebied is helder en plantenrijk. Het noordelijke deel is, tot het praktijkexperiment met ijzersuppletie begon, gedomineerd door blauwalgen en zeer arm aan waterplanten en oevervegetatie. In 2009 en in 2010 wordt in dit noordelijke deel dan ook zeer weinig vegetatie aangetroffen (Mettrop, 2009; Nat 2012; figuur 30).

FIGUUR 30

VEGETATIEKAART TERRA NOVA IN 2009

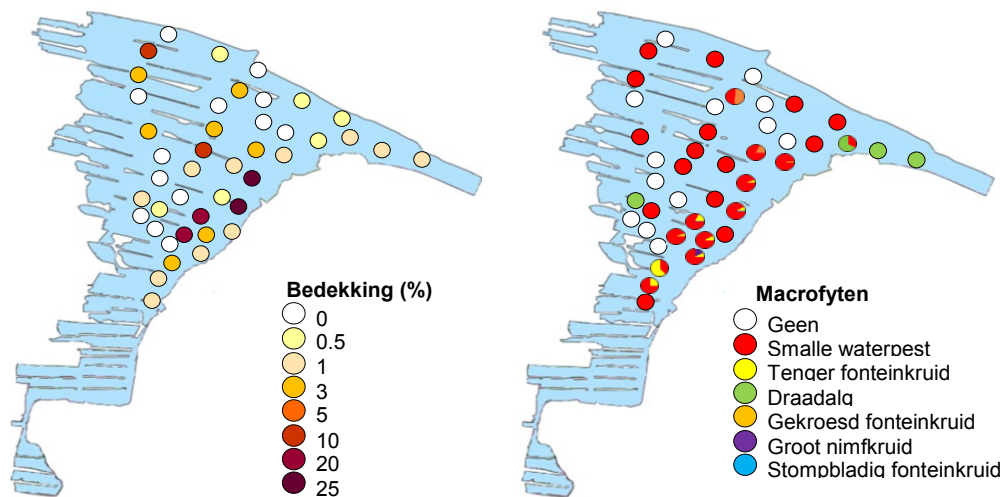


In tegenstelling tot de pilot, waar het doorzicht niet toenam door een te snelle ijzersuppletie, is het gemiddeld Secchi-doorzicht in Terra Nova enorm toegenomen van 34 cm in 2009 tot 88 cm in 2011.

Er zijn meer veranderingen te zien: het gemiddelde bedekkingspercentage submerse vegetatie is in 2011 verdubbeld t.o.v. 2010 (van 9% naar 18%). Dat is overigens nog steeds laag. Het aantal aangetroffen soorten is negen gebleven. In 2010 waren vier hiervan kroossoorten en in 2011 is dat er nog maar een. De grootste toename van frequentie wordt gezien bij *Elodea nuttallii*. Deze soort werd in 2010 op één meetlocatie aangetroffen en in 2011 op 25. De fonteinkruiden *Potamogeton crispus* en vooral *P. pusillus* zijn weer terug van weggeweest. De score op de KRW-maatlat steeg van 81 in 2010 naar 124 in 2011 (Nat 2012).

Het effect van ijzertoediening op de macrofytenbedekking en soortenrijkdom in Terra Nova is na meer dan een jaar ijzerdosering in september 2011 gemeten. Deze meting bestond uit bedekkingsschattingen door middel van het afharken van de bodem, visuele metingen via een kijkbuis en het tot op soort determineren van het geharkte materiaal. Resultaten van deze metingen staan weergegeven in figuur 31.

FIGUUR 31 (A) MACROFYTEN BEDEKKING IN PERCENTAGES. (B) MACROFYTEN SOORTEN WEERGEGEVEN ALS PERCENTAGES PER PLEK. METINGEN UITGEVOERD EIND SEPTEMBER 2011 IN TERRA NOVA



In figuur 31a is duidelijk te zien dat macrofyten in het najaar van 2011 al flink opkomen, met aan de oostzijde van de plas bedekkingen oplopend tot 25%. Van de 42 meetlocaties waren maar dertien locaties zonder waterplanten. Hoewel waterpest de voornaamste soort is die werd gevonden, zijn ook verscheidene fonteinkruiden en nimfkruid aangetroffen (figuur 31b). Deze metingen laten zien dat de macrofytenpopulatie in Terra Nova, die voor de ijzerdoseringen bijna was verdwenen in de plas, bezig is aan een opmars en langzaam weer begint terug te keren in Terra Nova.

Dat de bedekkingen nog niet erg hoog zijn, kan worden verklaard door de korte duur van de periode na ijzersuppletie. Waarschijnlijk remt herbivorie door kreeften ook een snelle groei. Eerder onderzoek liet zien dat ook herbivorie door watervogels de groei van waterplanten sterk kan remmen (van de Haterd & ter Heerdt, 2007).

3.6.2 VISSTAND

De verwachting is dat, door het succesvol bestrijden van algenbloei, het doorzicht en de hoeveelheid ondergedoken waterplanten en mogelijk ook de hoeveelheid oeverplanten sterk zal toenemen. Daarmee zal ook de visstand en de score daarvan op de KRW-maatlat verbeteren (Schip, 2006; Hop & Kampen, 2009). In 2008 scoorde het noordelijke deelgebied van Terra Nova waar de blauwalgenbloeien voorkomen nog "Ontoereikend" (tabel 4). In de toekomst zal de score naar "Goed" gaan. Die verbetering zal echter niet direct binnen één of twee jaar plaatsvinden. Daarom is afgezien van de kostbare monsterring van de gehele plas.

Belangrijk aandachtspunt op de korte termijn is wel de conditie en de rekrutering van de visstand. Verhoogde ijzerconcentraties en verminderd voedselaanbod zouden daarop een negatief effect kunnen hebben. Echter in de bezinkbassins van waternet te Nieuwegein, die doorstroomd worden met water waarin met ijzerchloride slib uitvlokt en waar een dikke laag ijzerslib op de bodem ligt, wordt al tien jaar gezonde vis gevangen (Kalkman 2001, 2002, 2003, 2004, 2010). IJzersuppletie en ijzerslib zijn dus niet per definitie schadelijk.

TABEL 4

EOORDELING VAN DE VISSTAND OP DE KRW-MAATLATTEN. BIJ 0,6 IS HET KRW-DOEL GEHAALD. UIT HOP EN KAMPEN 2009

	Terra Nova (inclusief tijdens fuikmonitoring verwijderde vis)	Noordelijk deelgebied	Zuidelijk deelgebied
Score	0,51	0,40	0,70
Beoordeling	Matig	Ontoereikend	Goed
<i>Deelmaatlat (scores)</i>			
Soorten totaal	0,73	0,73	0,60
AB Brasem	0,22	0,15	0,69
AB baars en blankvoorn / AB alle eurytopen	0,14	0,14	0,19
AB Plantminnende soorten	0,56	0,35	1,00
AB Zuurstoftolerante soorten	0,86	0,62	1,00
AB = abundantie (%)			

Toxische effecten van het toegevoegde ijzer op de vis worden niet verwacht (ter Heerdt, 2012). IJzer (III) kan toxisch zijn. Maar het meeste ijzer zal zich binden aan/tot vaste stoffen en neerslaan als ijzerslib. De binding van IJzer (III) tot een vaste stof gebeurt in een fractie van een seconde. Als de doseringssnelheid voldoende laag is, zullen hoge ijzer III-gehalten dus niet voorkomen. De ijzer totaal-gehalten blijven tijdens het praktijkexperiment in Terra Nova onder de 0,75 mg/liter. De ijzer III-gehalten zullen nog lager zijn. Dat is dus ruim onder de norm van LC50 waarde van 28 en 50 mg ijzer (III)/liter voor een gevoelige soort als beekforel.

Om een beeld te krijgen van het effect van ijzeradditie op de visconditie in Terra Nova is ATKB gevraagd om een inventarisatie van de visstand in het met ijzer behandelde en het onbehandelde petgat uit te voeren, evenals een inventarisatie in een referentievak in Terra Nova zelf (Rutjes, 2011). De inventarisatie heeft zich gericht op het beantwoorden van de volgende vragen:

- Welke soorten komen er voor?
- Wat is de lengteverdeling van de gevangen vissen?
- Wat is de conditie van de gevangen vis (lengte- en gewichtrelatie)?
- Zijn er uiterlijke beschadigingen waarneembaar die het gevolg kunnen zijn van de toediening van ijzerchloride?

Door de beperkte oppervlakte en de plaatselijke omstandigheden is er besloten om op alle locaties met kieuwnetten te vissen, aangevuld met elektrovisserij in de oeverzone. Doordat op alle locaties met dezelfde inspanning is gevestigd en het gegeven dat alle locaties van vergelijkbare grootte zijn kan op deze wijze een goede vergelijking worden gemaakt tussen de locaties. De bemonstering door ATKB is uitgevoerd op 25 en 26 oktober 2011 en de resultaten staan weergegeven in tabel 5.

TABEL 5 AANTALLEN GEVANGEN EXEMPLAREN PER VISSOORT EN HUN LENGTE

	Noordelijke enclosure (1.4 mg Fe L-1)	Zuidelijke enclosure (0.12 mg Fe L-1)	Terra Nova	
			Lengterange (cm) (0.23 mg Fe L-1)	Lengterange (cm)
Rutilus rutilus	-	2	-	4 – 6
Scardinius erythrophthalmus	2	1	-	3 – 14
Gymnocephalus cernuus	-	-	-	7 – 13
Perca fluviatilis	13	75	18	6 – 22
Esox lucius	-	2	1	30 – 74
Tinca tinca	-	1	1	3 – 47
Leucaspis delineatus	-	-	7	3 – 5

Op basis van de bovenstaande gegevens valt af te leiden dat ten tijde van de bemonstering weinig vis in de enclosures en op de referentielocatie is gevangen. Dit wijst erop dat er maar weinig vis aanwezig was. De geringe dichtheid aan vis in het referentiegebied is zeer waarschijnlijk het gevolg van de winterclustering die ten tijde van de bemonstering al gaande was. Baars (*Perca fluviatilis*) is de meest voorkomende vissoort op alle locaties. Van de overige vissoorten zijn de gevangen aantallen zo laag dat op basis hiervan geen duidelijke vergelijkingen zijn te maken.

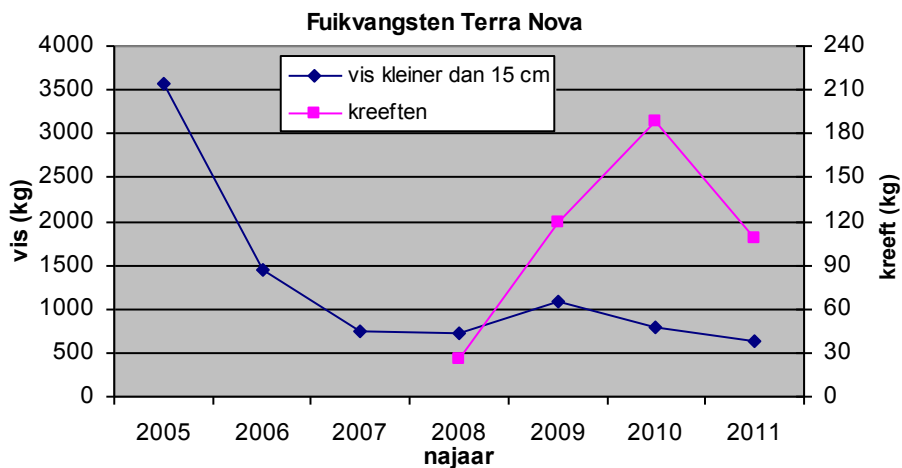
De conditie van de gevangen vissen staat weergegeven in tabel 6. Alleen bij de baars (*P. fluviatilis*) zijn er voldoende vissen aangetroffen om een betrouwbaar gemiddelde te berekenen. De conditie van de gevangen baarzen is normaal tot goed. Grote verschillen tussen de locaties zijn er niet. Het lagere gewicht van de baarzen uit de fuiken kan veroorzaakt zijn doordat deze vissen door het verblijf in de netten een lege maag en darm hadden. De aangetroffen vissen zijn tevens visueel beoordeeld op afwijkingen, hierbij zijn bij geen van de gescreende vissen uiterlijke bijzonderheden opgevallen.

TABEL 6 CONDITIE VAN DE VISSTAND NA IJZERSUPPLETIE IN TERRA NOVA. DE "NORMALE" WAARDE IS 1.00

	Petgat met ijzer	N	Petgat zonder ijzer	N	Terra Nova	N
Scardinius erythrophthalmus	1.14	3	1.12	1	-	-
Gymnocephalus cernuus	1.39	1	1.03	3	-	-
Gymnocephalus cernuus (fuiken)	-	-	-	-	0.96	2
Perca fluviatilis	1.07	38	1.13	32	1.18	16
Perca fluviatilis (fuiken)	-	-	-	-	1.07	25
Esox lucius	-	-	1.08	2	-	-
Tinca tinca	-	-	1.07	2	0.90	1
Rutilus rutilus (fuiken)	-	-	-	-	0.94	5

De rekrutering is, in grote lijnen, gevolgd door de jaarlijkse fuikmonitoring die in 2005 is gestart (Kampen & Vernooij, 2005). De rekrutering is al jaren stabiel en 2011 is geen uitzondering (figuur 32). IJzersuppletie heeft dus geen negatief effect op de rekrutering van de visstand.

FIGUUR 32 HET VERLOOP VAN DE VANGSTEN VAN VIS EN KREEFTEN IN TERRA NOVA. UIT TER HEERDT 2012



3.6.3 MACROFAUNA

Het totaal aantal soorten is tijdens de ijzersuppletie flink toegenomen, van 124 naar 157 (Zuyderduyn, 2012). De methode is duidelijk niet schadelijk voor de macrofauna.

TABEL 7 AANTAL MACROFAUNA TAXA IN 2008, 2009 EN 2010

Monsterlocatie	LVE100	LVE101	LVE102	LVE103	LVE104	LVE105	Totaal aantal soorten
Datum bemonstering voorjaar	23-5	23-5	23-5	23-5	23-5	23-5	
Datum bemonstering najaar	22-8	22-8	22-8	22-8	22-8	22-8	
Aantal taxa in 2008	63	51	75	54	34	54	124
Aantal taxa in 2009	62	56	58	60	51	42	126
Aantal taxa in 2011	95	62	67	32	86	77	157

In Terra Nova zijn relatief veel muggen en vliegen aangetroffen, vooral uit het genus Chironomus. Vier van de meest aangetroffen soorten in Terra Nova worden opgevat als negatief dominante indicatoren. Dit past bij de lange periode van slechte waterkwaliteit. Tijdens dit onderzoek is de zeldzame gevlekte zwemwants op twee locaties in Terra Nova aangetroffen (Zuyderduyn, 2012).

TABEL 8 VERDELING VAN DE GEVANGEN INDIVIDUEN IN 2012 OVER DE KLASSEN POSITIEF, NEGATIEF EN KENMERKEND

Soortnaam	Nederlandse naam	Aantal	Indicatoren; P = positief N = negatief K = Kenmerkend taxon
Chironomus	dansmuggenus	526	N
Chironomus commutatus	dansmugsoort	254	N
Asellus aquaticus	Zoetwaterpissebed	192	N
Piona variabilis	mijtensoort	123	-
Agrypnia pagetana	kokerjuffersoort	120	K
Cyrmus flavidus	kokerjuffersoort	103	-
Endochironomus albipennis	dansmugsoort	95	-
Asellidae	pissebeddenfamilie	90	-
Arrenurus crassicaudatus	mijtensoort	78	-
Polypedilum nubeculosum	dansmugsoort	77	N

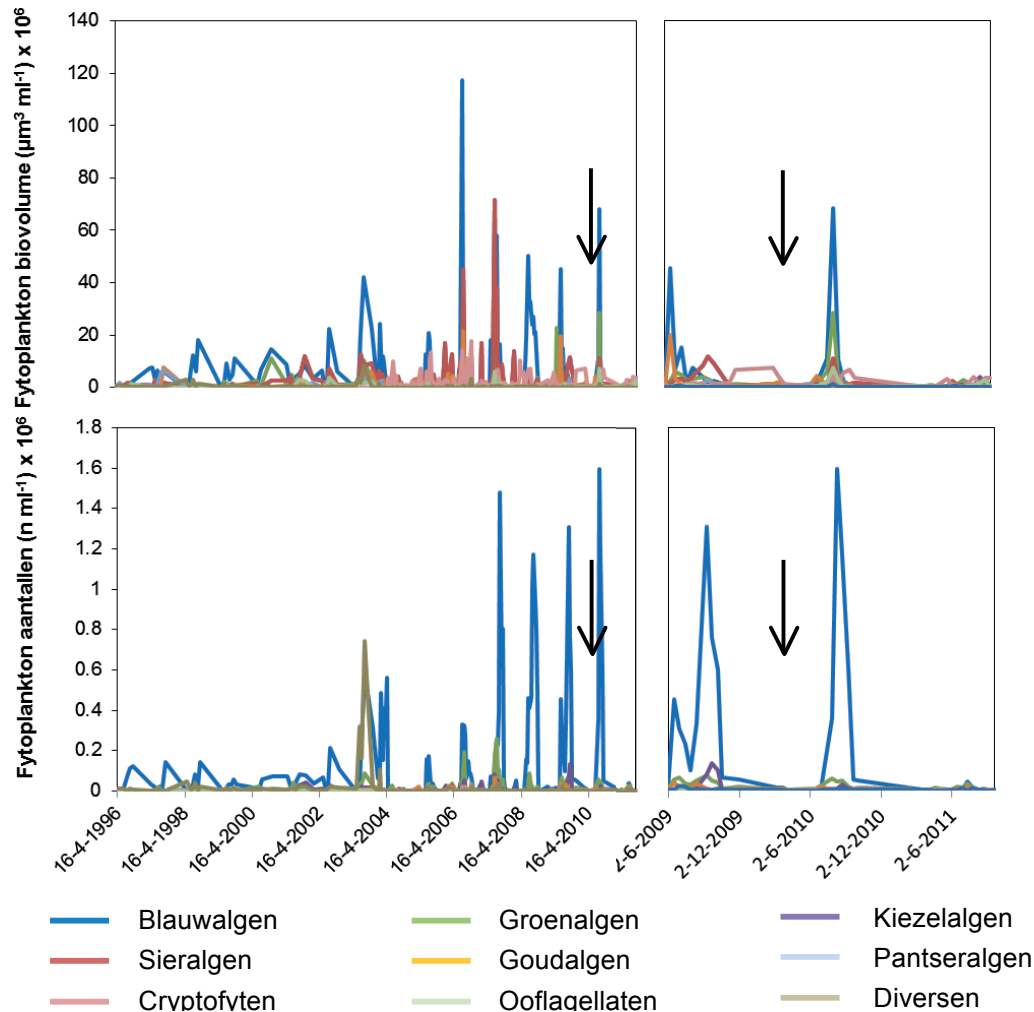
3.6.4 FYTOPLANKTON

Pieken in fytoplankton biovolume en aantallen in de zomer worden vaak gemeten in Terra Nova, maar sinds 2006 treedt er elk jaar in de zomer een veel grotere fytoplanktonbloei op, die wordt gedomineerd door blauwalgen (figuur 1). Het water is tijdens deze bloei zeer troebel en blauwalgen zijn met het oog goed te zien. Deze bloei vormden de directe aanleiding voor het project.

In het voorjaar van 2010 is de ijzersuppletie gestart. De eerstvolgende zomer was de invloed daarvan op in het bijzonder het fytoplankton en de blauwalgen nog niet te merken. In de zomer van het jaar daarop, echter, ontbreekt er een fytoplanktonpiek in de data (figuur 1b,1d). Het water in Terra Nova was helder en bodemzicht was bijna overal mogelijk. Fytoplankton lijkt dus negatief te reageren op ijzersuppletie en neemt drastisch af in biovolumes en aantallen.

FIGUUR 33

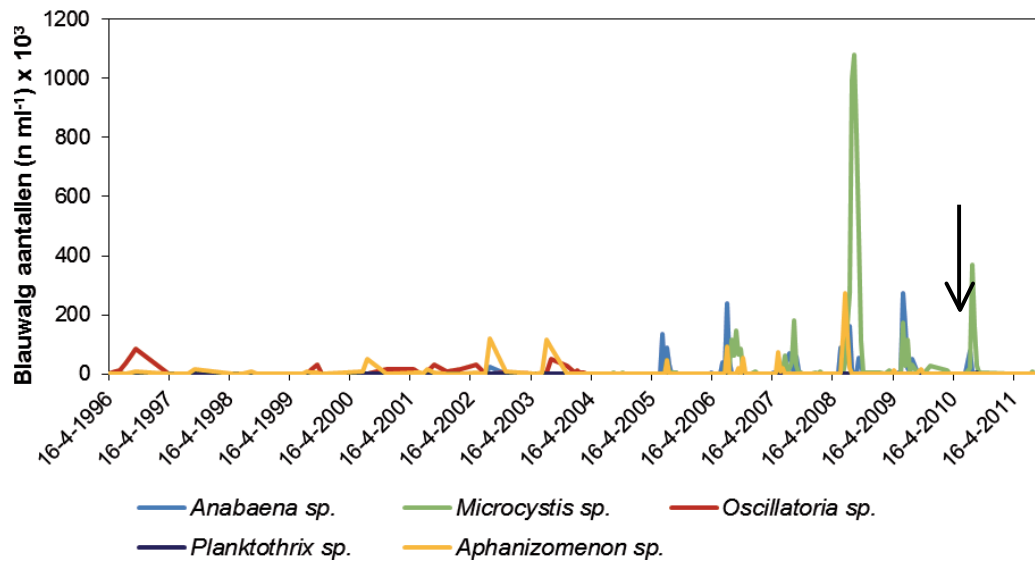
(A) FYTOPLANKTON BIOVOLUME IN M3 ML-1 GEMETEN IN TERRA NOVA VAN APRIL 1996 TOT SEPTEMBER 2011, (B) PERIODE VAN JUNI 2009 TOT SEPTEMBER 2011 UITVERGROOT, (C) FYTOPLANKTON AANTALLEN PER ML VOOR DE VERSCHILLENDE FYTOPLANKTON GROEPEN GEMETEN IN TERRA NOVA VAN APRIL 1996 TOT SEPTEMBER 2011, (D) PERIODE VAN JUNI 2009 TOT SEPTEMBER 2011 UITVERGROOT. PIJLEN INDICEREN START IJZERADDITIE (MEI 2010)



In figuur 34 staat de soortensamenstelling weergegeven van de vijf meest voorkomende, en overlast bezorgende, blauwalgen in Terra Nova. Tegelijk met het toenemen in aantallen in de zomer van 2004 is ook de dominantie verschoven van een door *Aphanizomenon* en *Oscillatoria* gedomineerde bloei naar een door *Anabaena* en *Microcystis* gedomineerde bloei (figuur 34). Deze verschuiving is het gevolg van het actief biologisch beheer dat in 2004 is uitgevoerd in Terra Nova.

Voor de ijzersuppletie was er een codominantie van *Microcystis* en de stikstof fixerende soort *Anabaena*, maar sinds de ijzersuppletie wordt er bijna alleen nog maar *Microcystis* gevonden. Het zou kunnen dat Terra Nova van een stikstof/licht gelimiteerd systeem naar een fosfaat gelimiteerd systeem is verschoven en dat *Microcystis* de beste concurrent is voor deze conditie.

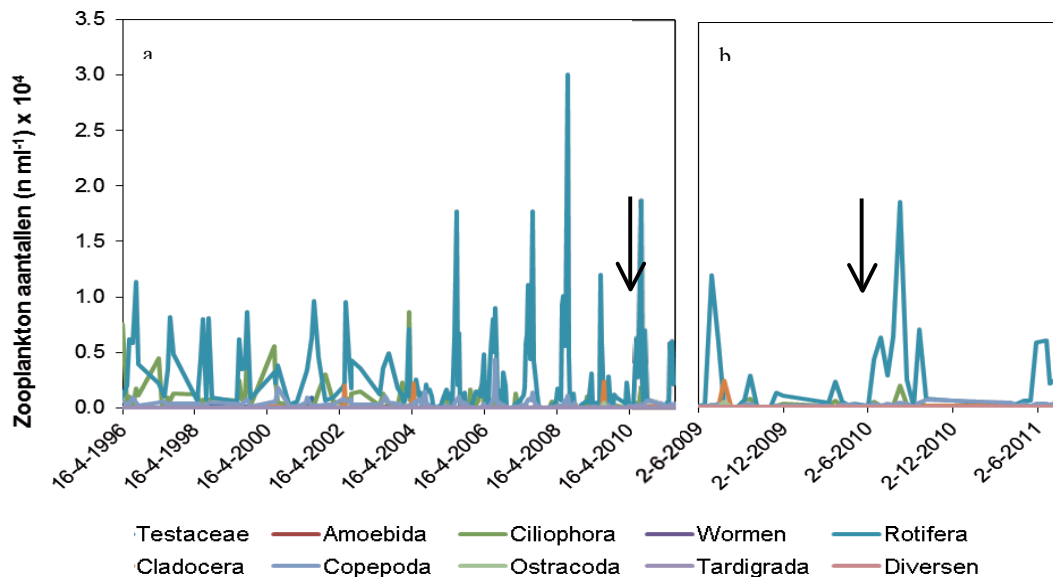
FIGUUR 34 AANTALLEN BLAUWALGEN PER ML VOOR DE MEEST VOORKOMENDE BLAUWALG GENERA ANABAENA, MICROCYSTIS, OSCILLATORIA, PLANKTOTHRIX EN APHANIZOMENON GEMETEN IN TERRA NOVA VAN APRIL 1996 TOT SEPTEMBER 2011. PIJL INDICEERT START IJZERADDITIE (MEI 2010)



3.6.5 ZOÖPLANKTON

Zoöplankton in Terra Nova toont elk jaar de gebruikelijke pieken rond mei, met Rotifera, Ciliophora en Copepoda als meest gemeten zoöplanktongroepen (figuur 35). Deze jaarlijkse piek is niet verdwenen sinds de ijzeradditie in 2010 (figuur 35b). De aantallen zijn in 2011 echter wel lager, maar dat zou goed kunnen worden veroorzaakt door de lage aantallen fytoplankton in de zomer van dat jaar.

FIGUUR 35 (A) ZOÖPLANKTON AANTALLEN PER ML VOOR DE VERSCHILLENDE ZOÖPLANKTON GROEPEN GEMETEN IN TERRA NOVA VAN APRIL 1996 TOT AUGUSTUS 2011, (B) PERIODE VAN JUNI 2009 TOT AUGUSTUS 2011 UITVERGROOT. PIJLEN INDICEREN START IJZERADDITIE (MEI 2010)



4

KOSTENEFFECTIVITEIT EN OPSCHAALBAARHEID

4.1 EFFECT OP DE KRW-MAATLATTEN

Uit de laatste metingen blijkt dat door ijzersuppletie de nalevering minimaal is geworden. Omdat de nalevering bijna de helft van de totale belasting uitmaakt, wordt deze bijna gehalveerd (tabel 9).

TABEL 9 DE VERSCHILLENDE BRONNEN VAN FOSFAATBELASTING IN TERRA NOVA

Fosfaatbelasting in gram/m ² /jaar vóór en na ijzersuppletie		
	vóór	na
neerslag	0,02	0,02
kwel	0,04	0,04
inlaat uit Loenderveense Plas	0,02	0,02
inlaat voor Terra Nova	0,01	0,01
afstroming land Terra Nova	0,01	0,01
vogels	0,01	0,01
bodem	0,10	0,00
totaal	0,22	0,12

De verwachting in het projectplan was dat door halvering van de belasting ook de fosfaatconcentratie zou halveren, van 0,08 naar 0,04 mg/liter. Op basis daarvan werd een toename van 0,19 op de KRW-maatlat voor fytoplankton en 0,11 op de maatlat voor vegetatie voorspeld. Voor de kosteneffectiviteit werd uitgegaan van een totale verbetering van de eindscore met 0,1 (tabel 10).

TABEL 10 DE VERWACHTE VERBETERING OP DE KRW-MAATLATTEN DOOR EEN VERMINDERDE FOSFAATBELASTING IN TERRA NOVA

Effect ijzersuppletie op KRW-scores op basis van belasting		
	van:	naar:
Fytoplankton	0,33	0,51
Waterplanten	0,42	0,54
Macrofauna	0,40	0,51
Vissen	0,38	0,43
eindscore	0,33	0,43
verbetering:		0,10

Door de ijzersuppletie daalde de fosfaatconcentratie van 0,065 mg/liter in 2009 naar 0,012 mg/liter in 2011. Het zomergemiddelde chlorofyl-a nam af van 67 µg/liter in 2009 naar 11 µg/liter. De score op de KRW-maatlat voor fytoplankton nam tussen 2009 en 2011 toe van 0,33 voor 2009 tot 0,83 in 2011. Met het model dat Waternet gebruikt om het effect van maatregelen op de KRW-doelen te bepalen (ter Heerdt, 2010), wordt geschat hoeveel de scores van

waterplanten, macrofauna en vis daardoor zullen toenemen (tabel 10). De eindscore neemt dan met 0,22 toe, van 0,33 naar 0,54 (tabel 11). Dit is aanzienlijk meer dan werd verwacht op basis van de gedaalde belasting.

TABEL 11

DE VERWACHTE VERBETERING OP DE KRW-MAATLATTEN DOOR DE WAARGENOMEN DALING IN CHL-A CONCENTRATIE IN TERRA NOVA

Effect ijzersuppletie op KRW-scores op basis van [Chl-a]		
	van:	naar:
Fytoplankton	0,33	0,83
Waterplanten	0,42	0,65
Macrofauna	0,40	0,61
Vissen	0,38	0,54
eindscore	0,33	0,54
verbetering:		0,22

De reden voor dit sterkere effect is waarschijnlijk de continue ijzerdosering, waardoor ook fosfaat dat via andere bronnen de plas binnenkwam werd verwijderd en in de waterkolom aanwezig fosfaat werd neergeslagen. Dit effect zal verdwijnen na het stopzetten van de dosering, waarna het effect op de nalevering overblijft. Daarom lijkt een verbetering van de totaalscore met 0,1 nog steeds een reële aanname.

Op basis van het gebruikte model wordt in beide gevallen verwacht dat het doel voor de KRW in Terra Nova, een laagste score van 0,6, niet wordt gehaald. Deze verwachting is echter aan de voorzichtige kant, omdat geen rekening wordt gehouden met een mogelijke omslag van helder naar troebel zoals kan worden voorspeld met het model PCLake. De kritische grenzen voor Terra Nova zijn 0,26 gram/m²/jaar voor de omslag van helder naar troebel en 0,16 gram/m²/jaar voor de omslag van troebel naar helder. De oorspronkelijke belasting van 0,22 gram/m²/jaar is nog te hoog om deze omslag waarschijnlijk te maken. Maar bij 0,12 gram/m²/jaar komt het systeem onder de laagste grens en wordt deze omslag waarschijnlijk. Daarmee zal het effect van ijzersuppletie verder toenemen en worden de KRW-doelen zeer waarschijnlijk wel gehaald. Dat dit binnen het project nog niet plaatsvond, kwam omdat een dergelijke omslag enige jaren vergt en doordat de kreeften de vegetatieontwikkeling remden.

4.2 KOSTENEFFECTIVITEIT

De kosten van de methode, zoals uitgevoerd in Terra Nova, zijn vertaald naar een standaard-plas van 100 hectare. De kosten bestaan uit de bouw van de installatie, het beheer ervan, monitoring en de prijs van het ijzerchloride (tabel 12). De prijs van ijzerchloride kan variëren van € 90-170 per ton, we rekenen met de hoogste prijs. Voor een plas van 100 hectare komt het totaal dan uit op € 230.000,-. Hiervoor zou een plas van 100 ha met 0,1 EKR-punten verbeteren voor een periode van 10 jaar.

TABEL 12

KOSTEN IJZERSUPPLETIE PER 100 HECTARE

Kosten IJzersuppletie per 100 ha.	
Kosten installatie	€ 52.692
Beheer	€ 44.651
Monitoring	€ 10.000
Kosten ijzerchloride	€ 122.680
totaal	€ 230.023

Om op de manier van de ex ante evaluatie” (Ligtvoet et al., 2008) een vergelijking van de kosteneffectiviteit met andere maatregelen mogelijk te maken, zijn de kosten per 0,01 EKR-punt voor heel Nederland berekend. Als 4500 ha laagveenplas met 0,1 verbetert, verbeteren alle plassen in Nederland met 0,0113 EKR-punt. Per 0,01 EKR-punt gaat het dan om € 920.093 per jaar. Ter vergelijking: het RWS/regiomaatregelenpakket kost € 150.000.000 per jaar. Per 0,01 EKR-punt gaat het dan gemiddeld om € 10-20.000.000. Daarmee vergeleken is zelfs de pessimistische schatting van de kosten voor ijzersuppletie een goedkope maatregel. De kosteneffectiviteit van ijzersuppletie is vergelijkbaar met die van Actief Visstandbeheer (€ 1-2.000.000 per 0,01 EKR per jaar).

Voor de komende jaren is een bedrag van € 332.000.000 geraamd voor baggeren, met een beperkt of onbekend effect op de ecologische kwaliteit. Ijzersuppletie zou voor een deel van dit baggerwerk een alternatief kunnen vormen.

4.3 OPSCHAALBAARHEID

Van de 40.000 ha meren in Nederland is ongeveer 12.650 ha laagveenplas M27. Daarvan zal ongeveer 4000 ha potentieel in aanmerking komen voor Ijzersuppletie, omdat verwacht wordt dat na type-een maatregelen de externe belasting voldoende laag zal zijn (zie bijlage 3). Bij 2750 ha is dat onwaarschijnlijk. Van 5900 ha weten we het nog niet, het lijkt veilig aan te nemen dat daarvan 500 ha voldoende laag is belast om van de methode te profiteren. In totaal gaat het dan om 4.500 ha die voor behandeling in aanmerking zouden kunnen komen. De kosten daarvan worden op basis van dit praktijkexperiment geraamd op €10.351.045 (Tabel 13).

TABEL 13

BEPALING VAN DE KOSTEN VOLGENS DE “EX ANTE” METHODIEK

Kosten en opschaalbaarheid ijzersuppletie in laagveenplassen		
	<i>reële schatting</i>	<i>pessimistische schatting</i>
totale kosten		
kosten per plas van 100 hectare	€ 230.023	€ 230.023
kosten voor alle 4500 ha in Nederland	€ 10.351.045	€ 10.351.045
kosten per jaar		
duurwerking (jaar)	10	5
kosten per jaar voor alle 4500 ha in Nederland	€ 1.035.105	€ 2.070.209
kosten per 0,01 EKR		
toename EKR toepassing in 4500 ha	0,10	0,05
toename EKR gemiddeld over alle 40.000 ha in Nederland	0,0113	0,0056
kosten per 0,01 EKR per jaar voor alle 40.000 ha	€ 920.093	€ 3.680.372
kosten per 0,01 EKR per jaar per ha	€ 23,00	€ 92,01

Om te kunnen beoordelen of ijzersuppletie een bruikbare maatregel is voor het dichterbij brengen van de KRW-doelen in een meer of plas is de publicatie “Van helder naar troebel... en weer terug” (Jaarsma et al., 2008) een goede basis. Doorloop daarvoor de volgende stappen:

- Bepaal met het model PCLake (Janse, 2005), of het metamodel daarvan, de kritische grenzen voor de belasting met fosfaat.
- Stel een water- en nutriëntenbalans op en bepaal de externe belasting. Is die groter dan de kritische grenzen? Dan heeft toepassing van ijzersuppletie geen zin. Hiervoor zijn verschillende tools beschikbaar, zoals de KRW-verkenner, het KRW-volg- en stuursysteem en de BaggerNut bodemdiagnose.
- Is de externe belasting voldoende laag? Bepaal dan met de Quick Scan van BaggerNut de nalevering op basis van P, Fe en S in het bodemvocht. Is de nalevering hoger dan de kritische grenzen en is een geringe hoeveelheid ijzer daarvan de oorzaak? Dan is ijzersuppletie een mogelijke maatregel.

De kosten van ijzersuppletie zijn afhankelijk van de grootte van de plas, de hoeveelheid ijzer die wordt toegevoegd en de dagprijs van ijzerchloride. Het bestand “rekenhulp begroting ijzersuppletie” is hiervoor bedoeld. Ook de kostentabellen staan ter beschikking. De wind aangedreven installatie is geschikt om een plas van 100 hectare in twee jaar te behandelen. Is de plas iets groter, dan moet de behandeling langer duren. Is de plas veel groter, dan kan het wenselijk zijn om meerdere installaties in te zetten. Als de plas door bomen of bebouwing minder in de wind ligt, dan duurt het doseren langer, of zijn er meer installaties nodig.

Een beheerder kan er voor kiezen om zelf een installatie te (laten) bouwen. Houdt daarbij rekening met de vraag of de installatie vaker kan worden gebruikt in verband met de afschrijvingskosten ervan. Wellicht is het een idee dat meerdere partijen gezamenlijk in een installatie investeren.

Het ontwerp en gebruik van de installatie is beschreven in het rapport “Ontwerp en Gebruikershandleiding Ijzersuppletie.doc” (Colin, 2012). Elk technisch bedrijf zou dit moeten kunnen bouwen. Waternet stelt, indien wenselijk, expertise in de vorm van persoonlijke ondersteuning voor de bouw en voorbereiding ter beschikking. Informatie over onderdelen is op aanvraag te verkrijgen.

4.4 VEILIGHEID, VERGUNNINGEN EN DRAAGVLAK

Veiligheid is een belangrijk punt. Opslag, transport en overslag van ijzerchloride brengen risico's met zich mee. Deze risico's zijn goed bekend en kunnen door middel van een milieuvergunning en risicoanalyse worden geminimaliseerd, waardoor de methode volledig veilig is. Ontwerp en beheer dienen op de milieuvergunning te zijn gebaseerd (anders wordt die ook niet verstrekt).

De infrastructuur, overslagplaatsen, wegen, loswallen, hekwerk, dient Arbo-proof en vandaalbestendig te zijn (zie Blauw & Hammer, 2010; Colin, 2012).

Voor toepassing van ijzersuppletie is een milieuvergunning noodzakelijk voor opslag, overslag en transport van ijzerchloride (Provincie Noord-Holland, 2010).

De dosering zal niet leiden tot kans op overschrijding van de normen voor pH, chloride en ijzer. Het gebruikte ijzerchloride wordt ook toegepast bij de drinkwaterproductie en bevat dus zeer weinig vervuilende stoffen (Bierman, 2009; ter Heerdt, 2009). Een vergunning voor de WVO was daarom niet nodig (Makkenze, 2009).

Toepassing van de maatregel stuit niet op bezwaren bij de NB-wet en Natura 2000, omdat er geen schade wordt verwacht en de maatregel een beheermaatregel is zoals bedoeld in de NB-wet en zal leiden tot verbetering richting de doelen (mededeling Provincie Noord-Holland). Schade zoals bedoeld in de Flora- en faunawet wordt uitgesloten door volgen van de richtlijnen in “Protocol FF-wet.doc” (ter Heerdt, 2009), gebaseerd op de gedragscode FF-wet voor waterschappen (Unie van Waterschappen, 2006).

Voor de drijvende installatie is geen bouwvergunning nodig. Voor de infrastructuur kan een aanlegvergunning nodig zijn, afhankelijk van het bestemmingsplan (Gemeente Wijdmeren, 2009).

Weerstand bij medewerkers, recreanten en omwonenden kan ontstaan door onbekendheid met de methode en de risico's. Goede communicatie en voorlichting is daarom van belang. Kern van de zaak is dat deze maatregel goed is voor natuur en milieu, veilig en duurzaam. Het gaat om een mitigerende maatregel, die het verdwenen natuurlijke ijzer moet aanvullen en niet om de toevoeging van iets dat van nature niet in de plas thuis hoort.

5

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Het halen van de KRW-doelen in Nederlandse meren wordt ernstig belemmerd door een te hoge belasting met de voedingsstof fosfaat, waardoor algenbloei ontstaat en de KRW-doelen niet worden gehaald. Echter, ondanks het geplande RWS/regiomaatregelpakket, zal in 2027 slechts 40-45% van de meren en kanalen aan de normen voor fosfaat voldoen. Veel fosfaat is namelijk afkomstig uit de bodem van de meren zelf. Tot nu toe zijn er weinig kosteneffectieve maatregelen voorhanden om deze interne toevoer te verminderen. Er staat voor 332 miljoen euro aan baggerwerk gepland voor de KRW, terwijl de effectiviteit daarvan gering of onbekend is. Er is daarom behoefte aan nieuwe maatregelen.

Uit onderzoek binnen het OBN-project Laagveenwateren en het KRW-project BaggerNut blijkt dat lage ijzergehalten in de bodem het vrijkomen van fosfaat bevorderen. Vroeger werd de bodem van veel laagveenplassen van nature via kwelwater met ijzer gevoed en kwam er weinig of geen fosfaat uit de bodem vrij. Door verdroging op landschapsschaal is deze toevoer gestopt en is het fosfaatbindend vermogen van de waterbodems verloren gegaan.

Ijzersuppletie is een effectief gebleken mitigerende maatregel om weer voldoende ijzer in de bodem te brengen en daardoor de toevoer van fosfaat uit de bodem te stoppen. Hiervoor wordt een verdunde oplossing van ijzerchloride geleidelijk met een door een windmolen aangedreven pompsysteem in de plas gebracht. Het ijzer verspreidt zich door de natuurlijke stroming over de bodem van de hele plas. De methode is duurzaam en natuur- en milieuvriendelijk.

Door zeer geleidelijk, over een periode van 2 jaar, te doseren wordt voorkomen dat de gehalten van ijzer en chloride te hoog worden en de pH te veel daalt. Een toxicologische analyse toont aan dat er geen te hoge hoeveelheden van andere stoffen worden aangevoerd. Laboratorium- en veldproeven laten zien dat de methode niet schadelijk is voor flora en fauna en deze juist bevordert.

De veiligheid wordt gewaarborgd door een zeer robuust ontwerp, nauwgezette instructies, persoonlijke beschermingsmaterialen en een cursus, zodat aan alle eisen van de milieuvergunning en het V&G-plan wordt voldaan.

De praktijkproef was succesvol. De nalevering van fosfaat vanuit de bodem daalde tot nihil. Daardoor namen ook de fosfaatconcentraties sterk af. De blauwalgen verdwenen, het water werd weer helder en de waterplanten keerden weer terug. De waterplanten kwamen echter niet tot volle ontwikkeling door de aanwezigheid van grote aantallen rivierkreeften.

De score op de KRW-maatlatten nam sterk toe en zal, naar verwachting, nog verder verbeteren. Een toename van de eindscore met 0,1 blijkt zeker haalbaar. Als het ecosysteem hierdoor omslaat van troebel naar helder zal de toename nog groter zijn. Het halen van de KRW-doelen is daarmee te verwachten.

Voor € 230.000,- kan een plas van 100 hectare voor 10 jaar van voldoende ijzer worden voorzien. Volgens de systematiek van de ex ante evaluatie komt dat, voor heel Nederland, neer op een jaarlijks bedrag van € 920.093 voor een verbetering van 0,01 op de KRW-maatlat. Ter vergelijking, een zelfde verbetering op basis van het RWS/regiomaatregelpakket zoals beschreven in de ex ante kost 10-20 miljoen euro. Ijzersuppletie is daarmee één van de meer kosteneffectieve maatregelen.

Ijzersuppletie is door elke waterbeheerder toe te passen. De techniek en het gebruik van ijzerchloride is gebaseerd op standaard methodes en algemeen verkrijgbare materialen. Waternet stelt informatie en expertise ter beschikking voor organisaties die de maatregel willen toepassen.

Om te kunnen beoordelen of ijzersuppletie ergens toepasbaar is, is de STOWA-publicatie "Van helder naar troebel... en weer terug" een goede basis. Met het model PCLake, of het metamodel daarvan, kunnen de kritische grenzen voor de belasting met fosfaat bepaald worden. Met de KRW-verkenner, het KRW-volg- en stuursysteem en/of de BaggerNut bodemdiagnose kan de externe belasting worden bepaald en vergeleken met de kritische grenzen. Is de externe belasting groter dan de kritische grenzen, dan heeft toepassing van ijzersuppletie geen zin. Als de externe belasting voldoende laag is, kan met de Quick Scan van BaggerNut de nalevering op basis van P, Fe en S in het bodemvocht worden bepaald. Is de nalevering hoger dan de kritische grenzen, en is een geringe hoeveelheid ijzer daarvan de oorzaak, dan is ijzersuppletie een goede maatregel.

6

LITERATUUR

1. Bakker, L. Nutriënten input door watervogels op Terra Nova, de Waterleidingplas en Loenderveen Oost in 2007. 2008.
2. Biemond. Rapport 1948. De watervoorziening van Amsterdam. 1948; 1948.
3. Bierman, H. G. Aanvraag WVO ijzersuppletie. Amsterdam: Waternet; 2009.
4. Blaauw, H. and Hammer, M. Risicoanalyse ijzersuppletie. Amsterdam: Waternet; 2010.
5. Boers, P.; van der Does, J.; Quaak, M., and van der Vlugt, J. Phosphorus fixation with iron(III)chloride: A new method to combat internal phosphorus loading in shallow lakes? *Archiv Für Hydrobiologie*. 1994; 129:339-351.
6. Brouwer, E. and Smolders, A. P. J. Nutriëntenhuishouding in de veenplas Terra Nova en mogelijkheden tot herstel. Nijmegen: B-ware; 2006; Rapport nummer 2006.01.
7. Chrzanowski, C. Effects of chemical additions on phosphorus mobilization and macrophyte growth in peat lake Terra Nova. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2012.
8. Colin, M. Ontwerp en Gebruikershandleiding ijzersuppletie in laagveenplas Terra Nova, Loenderveen. Amsterdam: Waternet; 2012.
9. Dionisio Pires, L. M. Cyanobactereën in Terra Nova. Literatuuronderzoek naar oorzaken van en maatregelen tegen de opkomst en dominantie van cyanobacteriën. Nieuwersluis: NIOO; 2007.
10. Gemeente Wijdmeren. Vergunning IJzerproject Terra Nova. Loosdrecht: Gemeente Wijdmeren; 2009.
11. Geurts, G. M. Restoration of fens and peat lakes: a biogeochemical approach. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2010.
12. Geurts, J. J. M.; Smolders, A. J. P.; Verhoeven, J. T. A.; Roelofs, J. G. M., and Lamers, L. P. M. Sediment Fe:PO₄ ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters. *Freshwater Biology*. 2008; 1-16.
13. Hop, J. and Kampen, J. Monitoring visstand Terra Nova najaar 2008. Geldermalsen: AquaTerra - KuiperBurger; 2009; projectnummer: 20070948.
14. Immers, A.; van der Wal, J.; Dorenbosch, M., and Bakker, L. Effects of iron addition and invasive crayfish on macrophyte growth. NIOO; 2012; Poster.
15. Immers, A.; van der Zande, M. T.; van der Zande, R. M.; Geurts, J. J. M.; van Donk, E., and Bakker, E. S. Iron addition as a shallow lake restoration measure: impacts on charophyte growth. *Hydrobiologia*. 2011; 2012, DOI: 10.1007/s10750-011-0995-7 Online First™ Open Access.
16. Immers, A. K.; Mels-Vendrig, K.; Ibelings, B. W.; van Donk, E.; ter Heerdt, G. N. J.; Geurts, J. J. M., and Bakker, E. S. Iron addition as a measure to restore water quality: implications for macrophyte growth. Wageningen: NIOO; 2010; conceptpublicatie *Science of the Total Environment*, 2011

17. Jaarsma, N.; Klinge, M., and Lamers, L. Van helder naa troebel en weer terug. Utrecht: STOWA; 2008.
18. Janse, J. H. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Wageningen: Wageningen University; 2005.
19. Janssen, A. Nutrient mobilization in peat lake Terra Nova after gradual iron addition. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2012.
20. Lamers, L., ed. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; 2006; DK nr. 2006/057-0.
21. --, ed. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2). Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; 2009; DK nr. 2006/057-0.
22. Lamers, L.; Klinge, M., and Verhoeven, J. OBN Preadvies laagveenwateren. Wageningen: Expertisecentrum LNV Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij; 2001.
23. Lamers, L.; Schep, S., and Geurts, J. Smolders F. Erfenis fosfaatrijk verleden: helder water met woekerende waterplanten. H2O. 2012; 44(13):29-31.
24. Ligtoet, W.; Beugelink, G.; Brink, C.; Franken, R., and Kragt, F. Kwaliteit voor Later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving; 2008; PBL 50014001/2008.
25. Makkenze, J. WVO ijzersuppletie niet nodig. Amsterdam: Waternet; 2009.
26. Mels-Vendrig, K. The effect of ferric chloride addition in a shallow eutrophicated peaty lake on submerged macrophytes. Wageningen: NIOO; 2011.
27. Mettrop, I. IJzersuppletie in laagveenplassen: een mitigerende maatregel ter vervanging van verdwenen ijzerrijke kwel. Een verslag van de pilot. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam; 2009.
28. --. Waterplanten in Terra Nova; ontwikkelingen van de vegetatie in 2009. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam; 2009.
29. Nat, E. De inventarisatie van waterplanten en oevervegetatie in het plassegebied van Amster- Gooien Vechtstreek in 2011. Edam: Waterproef; 2012.
30. Provincie Noord-Holland. Instemming proefvoorstel ijzerchloridedosering. Haarlem: Provincie Noord-Holland; 2010.
31. Rietdijk, J. IJzersuppletie Laagveenplas Terra Nova. Korte statistische analyse ijzersuppletie effecten Terra Nova. Amsterdam: Hogeschool van Hall Larenstein; 2010.
32. Rutjes, P. Rapportage visstandbemonstering enclosure Terra Nova. Geldermalsen: ATKB; 2011.
33. Saris, M. Gradual iron addition as a new method for the restoration of peat lakes. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2010.
34. Schep, S. Vissen in meren. Factsheets Ecologische Kennisregels. Deventer: Witteveen+Bos; 2006(KRW Verkenner).
35. Schep, S. A. Ecologische modellering Loenderveense Plas en Terra Nova. Deventer: Witteveen+Bos; 2010; LN4-1.
36. Schep, S. A. gevolgen van afsluiting van het noordelijk en zuidelijk deel van Terra Nova op de toekomstige waterkwaliteit en ecologische kwaliteit in het gebied. Deventer: Witteveen+Bos; 2007 Nov 20.

37. ter Heerdt, G. N. J. Achtergronddocument afleiding KRW-doelen in het AGV-gebied. Amsterdam: Waternet; 2010.
38. --. IJzersuppletie in Laagveenplassen; dosering gericht op grenswaarden. Amsterdam; 2009.
39. --. Projectvoorstel Waternet IJzersuppletie in laagveenplassen. Een mitigerende maatregel ter vervanging verdwenen ijzerrijke kwel. Amsterdam: Waternet; 2009; KRW08079.
40. ter Heerdt, G. N. J. Protocol Flora- en Faunawet IJzersuppletie in laagveenplassen. Amsterdam: Waternet; 2009.
41. ter Heerdt, G. N. J. Relatie gezondheid vis en ijzersuppletie. Amsterdam: Waternet; 2012.
42. --. Resultaten fuikmonitoring Terra Nova 2011. Amsterdam: Waternet; 2012.
43. ter Heerdt, G. N. J. and Hootsmans, M. Why biomanipulation can be effective in peaty lakes. *Hydrobiologia*. 2007; 585:305-316.
44. Uni van Waterschappen. Gedragscode Flora- en Faunawet voor waterschappen. Den Haag: Unie van Waterschappen; 2006.
45. van de Haterd, R. J. W. and ter Heerdt, G. N. J. Potential for the development of submerged macrophytes in eutrophicated shallow lakes after restoration measures. *Hydrobiologia*. 2007; 584:277-290.
46. van der Oost, R. Analyse van de toxiciteit van ijzerchloride suppletie Terra Nova. Amsterdam: Waternet; 2009.
47. van der Wal, J. E. M. Effects of crayfish on the establishment of macrophytes in a shallow peat lake. Wageningen: NIOO; 2011.
48. van der Zande, R. and van der Sande, M. The effect of iron addition on macrophytes. A research on the growth rate and nutriënt composition of two macrophyte species and on algae abundance. Wageningen: NIOO; 2010.
49. van Hintum, R. Iron supplementation in the peat lake Terra Nova: Pilot experiments. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2011.
50. Voerman, S. Effect of wind turbulence and iron addition on nutrient mobilisation in a peat lake. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen; 2010.
51. Zuyderduyn, C. Macrofauna-onderzoek in 10 waterrichamen in het Waternetgebied in 2011 (VASTECOL). Edam: Waterproef; 2012.